

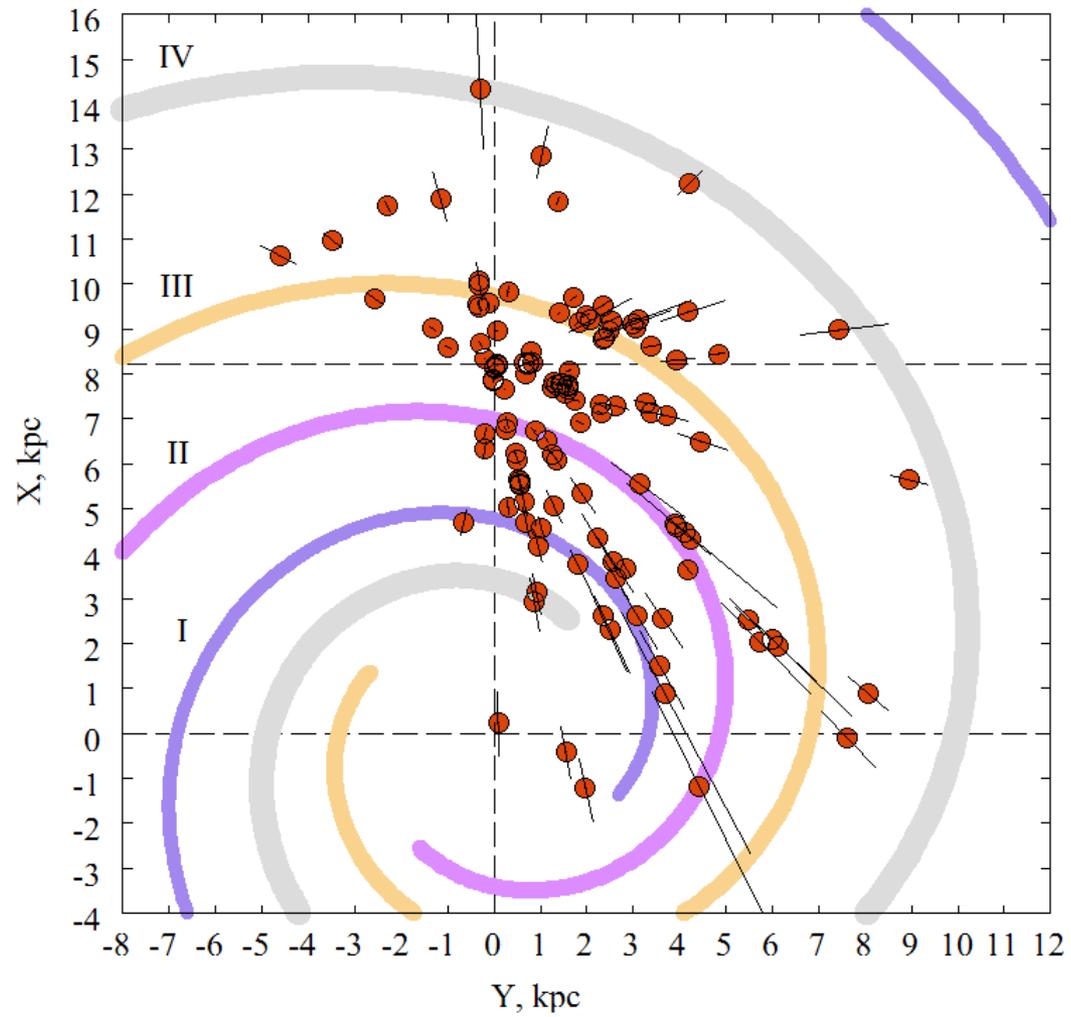
# ОСТАТОЧНОЕ ВРАЩЕНИЕ СИСТЕМЫ ИСРФ ОТНОСИТЕЛЬНО ИНЕРЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

***Бобылев В.В.***

*Пулковская астрономическая обсерватория (ГАО РАН)*

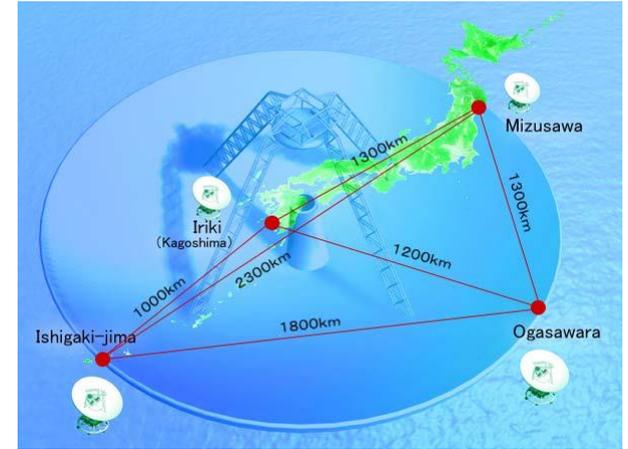


# ВВЕДЕНИЕ



## I) VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry)

KaVA is a Korea-Japan joint VLBI array consisting of 7 stations (four 20m telescopes of VERA and three 21m telescope of KVN).



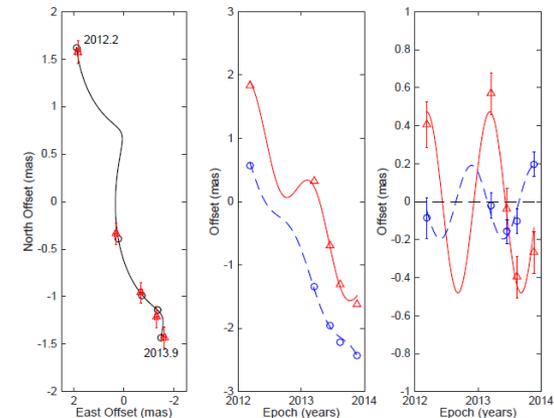
## II) BeSSeL (Bar and Spiral Structure Legacy Survey)

NRAO + EVN

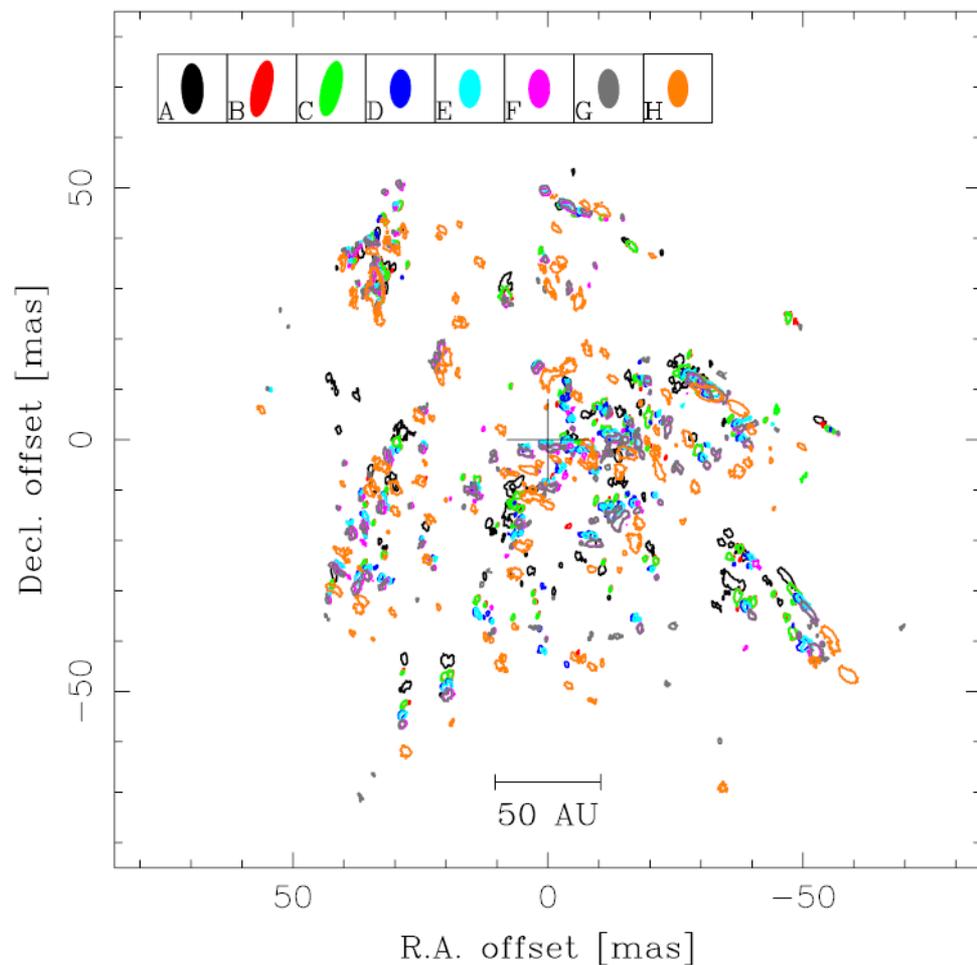


## III) LBA (Australian Long Baseline Array)

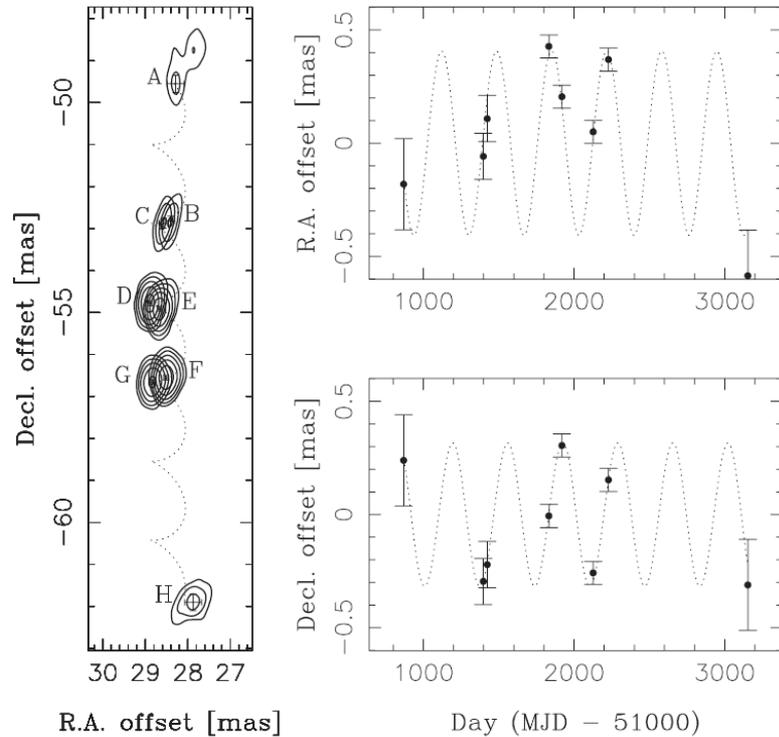
Первое измерение тригонометрического параллакса для источника G339.884-1.259 опубликовано в 2015 году.



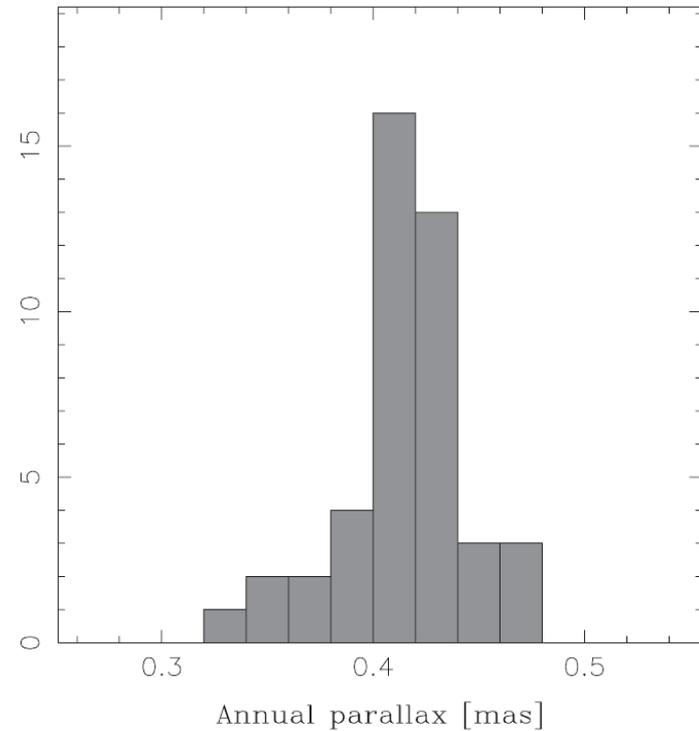
# Пример наблюдений звезды S Per, выполненных в рамках программы VERA



**Figure 5.** Spatial distribution of S Per H<sub>2</sub>O masers in the eight epochs. The central cross represents the error bars of the distribution centroid estimated from the expanding-shell flow model fitting described in Section 4.2. The outlines of maser features represent a  $6\sigma$  noise-level contour (90, 138, 156, 150, 168, 150, 162, and 138 mJy at epoch A, B, C, D, E, F, G, and H, respectively). The synthesized beams are shown in the  $1 \times 1 \text{ mas}^2$  boxes.

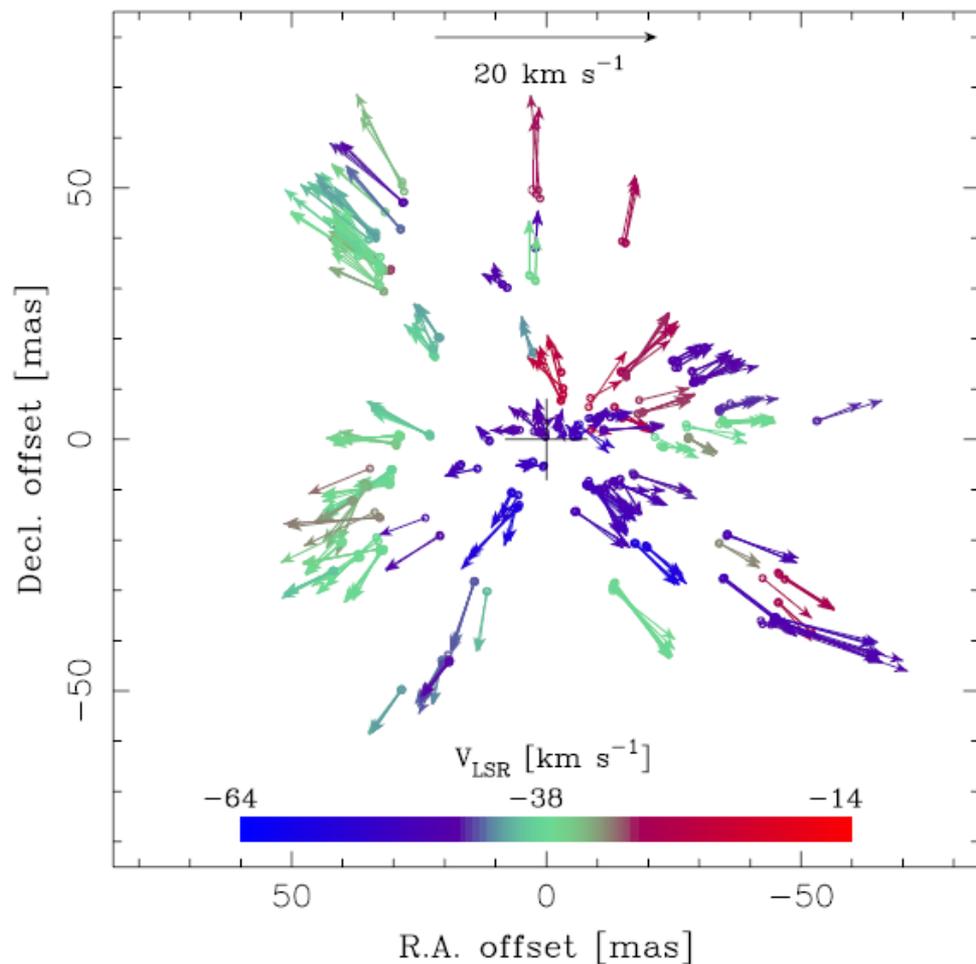


**Figure 6.** Left panel: maser spot motion of S Per on the sky relative to KR143 (spot-ID 39 in Table 4). A dotted line represents the best-fit annual parallax and proper motion. The outermost contour shows a  $6\sigma$  noise level for this channel



**Figure 7.** Histogram of the annual parallaxes for the 44 maser spots listed in Table 4.

# Пример наблюдений звезды S Per, выполненных в рамках программы VERA



**Figure 10.** Internal proper motions of maser spots of S Per. The color represents the radial velocity.

# ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является определение вектора остаточного вращения оптической реализации системы HCRF (HIPPARCOS Celestial Reference Frame) относительно инерциальной системы координат из сравнения собственных движений звезд, полученных в радио и оптическом диапазонах.

# РЕЗУЛЬТАТЫ

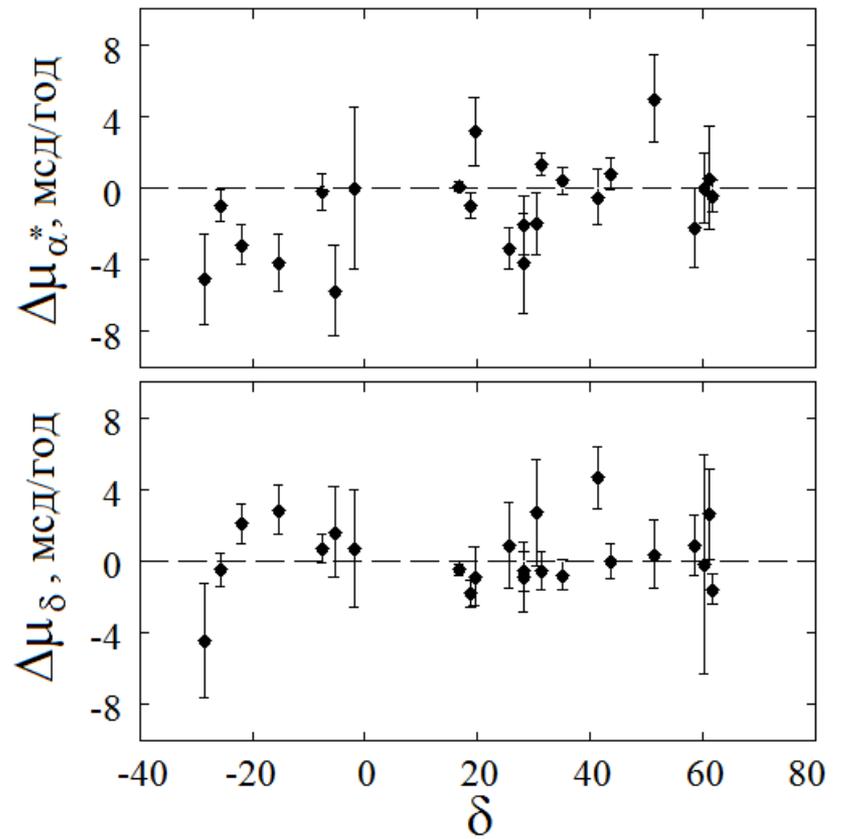
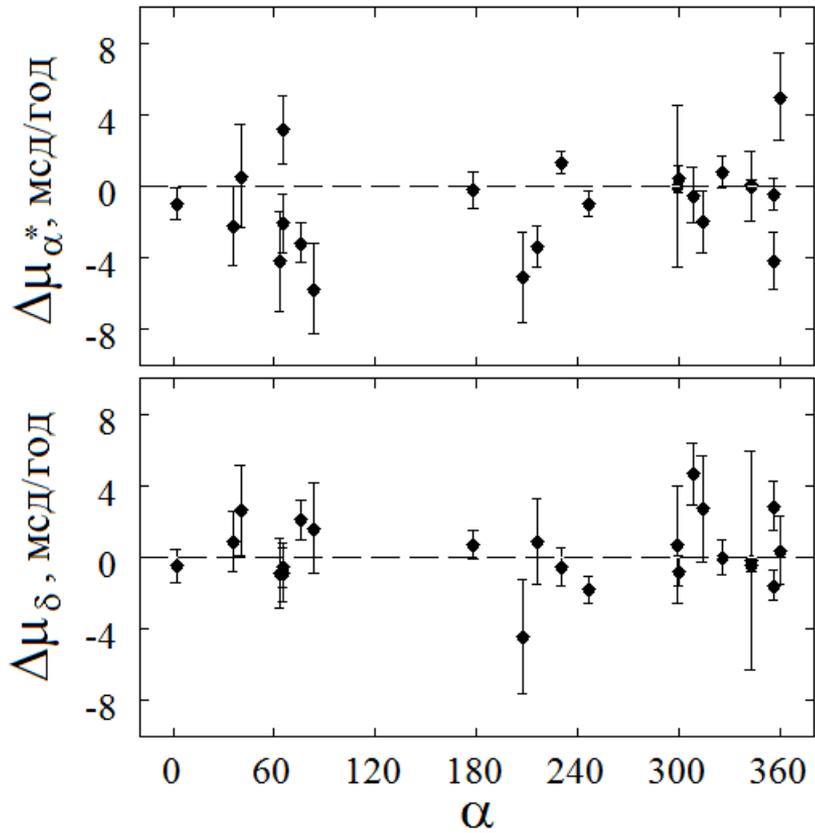
| Звезда           | HIP/UCAC  | Тип     | частота,<br>ГГц | прогр. | излучение               | ref  |
|------------------|-----------|---------|-----------------|--------|-------------------------|------|
| T Lep            | HIP 23636 | Mira    | 22.2            | VERA   | H <sub>2</sub> O masers | (1)  |
| S Crt            | HIP 57917 | SRb     | 22.2            | VERA   | H <sub>2</sub> O masers | (2)  |
| W Hya            | HIP 67419 | SRa     | 1.6             | NRAO   | OH masers               | (3)  |
| RX Boo           | HIP 70401 | SRb     | 22.2            | VERA   | H <sub>2</sub> O masers | (4)  |
| S CrB            | HIP 75143 | Mira    | 1.6             | NRAO   | OH masers               | (5)  |
| U Her            | HIP 80488 | Mira    | 1.6             | NRAO   | OH masers               | (5)  |
| RR Aql           | HIP 98220 | Mira    | 1.6             | NRAO   | OH masers               | (5)  |
| R Aqr            | HIP117054 | Mira    | 43.2            | VERA   | SiO masers              | (6)  |
| R Cas            | HIP118188 | Mira    | 1.6             | NRAO   | OH masers               | (3)  |
| SY Scl           | UCAC4     | Mira    | 22.2            | VERA   | H <sub>2</sub> O masers | (7)  |
| UX Cyg           | UCAC4     | Mira    | 22.2            | NRAO   | H <sub>2</sub> O masers | (8)  |
| SS Cyg           | UCAC4     | D. Nova | 8.4             | NRAO   | continuum               | (9)  |
| IM Peg           | HIP112997 | RS CVn  | 8.4             | VLBI   | continuum               | (10) |
| S Per            | HIP 11093 | SRc     | 22.2            | NRAO   | H <sub>2</sub> O masers | (11) |
| V773 Tau         | HIP 19762 | T Tau   | 8.4             | NRAO   | continuum               | (12) |
| HDE 283572       | HIP 20388 | T Tau   | 8.4             | NRAO   | continuum               | (13) |
| T Tau N          | HIP 20390 | T Tau   | 8.4             | NRAO   | continuum               | (14) |
| LSI +61 303      | HIP 12469 | XMxRB   | 8.4             | VLBI   | continuum               | (15) |
| Cyg X-1          | HIP 98298 | XMxRB   | 8.4             | NRAO   | continuum               | (16) |
| Cyg OB2#5        | HIP101341 | EB      | 8.4             | NRAO   | continuum               | (17) |
| IRAS 22480+6002  | UCAC4     |         | 22.2            | VERA   | H <sub>2</sub> O masers | (18) |
| PZ Cas           | HIP117078 | SRa     | 22.2            | VERA   | H <sub>2</sub> O masers | (19) |
| $\theta^1$ Ori A | UCAC4     |         | 8.4             | NRAO   | continuum               | (20) |

Примечание:

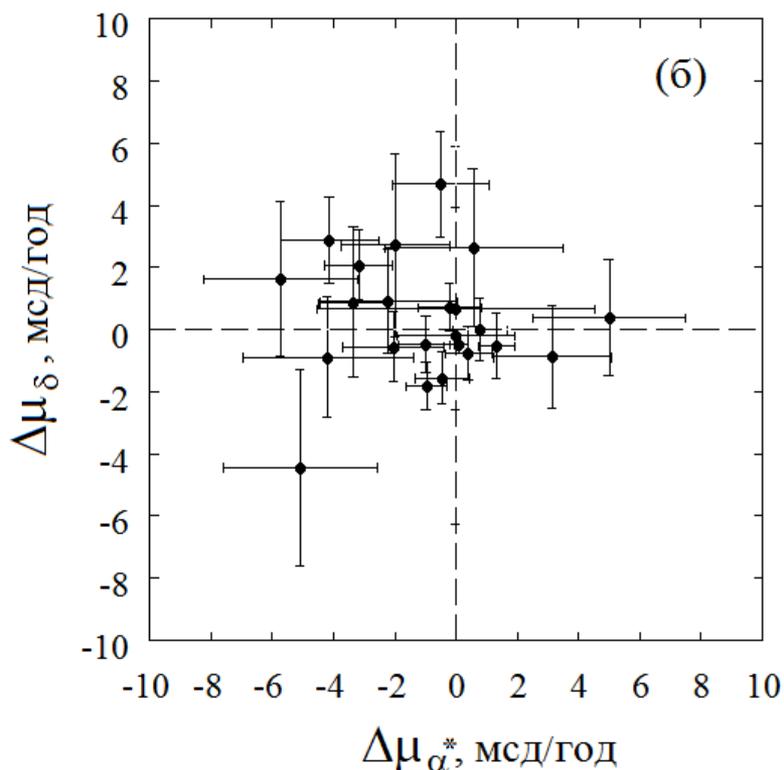
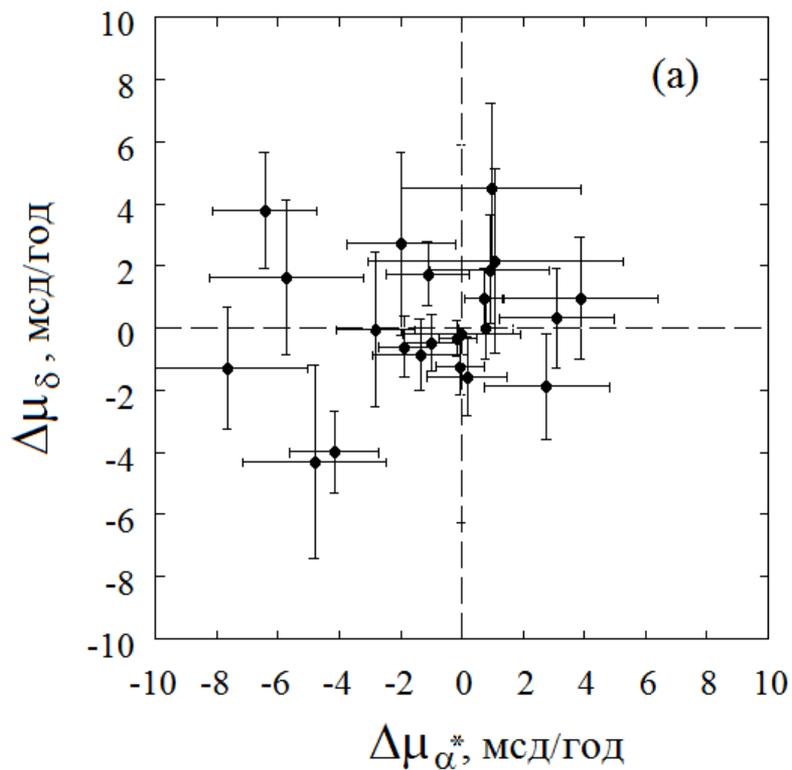
SR – Semi-regular pulsating Star, RS – Eruptive variables of the RS Camum Venaticorum type, EB – Eclipsing binary, XMxRB – High Mass X-ray binary,

(1) – Накагава и др. (2014), (2) – Накагава и др. (2008), (3) – Влемингс и др. (2003), (4) – Камезаки и др. (2012), (5) – Влемингс, Лангевельде (2007), (6) – Мин и др. (2014), (7) – Нью и др. (2011), (8) – Кураяма и др. (2005), (9) – Миллер-Джонс и др. (2013), (10) – Ратнер и др. (2012), (11) – Асаки и др. (2010), (12) – Торрес и др. (2012), (13) – Торрес и др. (2007), (14) – Лойнард и др. (2007), (15) – Даван и др. (2006), (16) – Рид и др. (2011), (17) – Дзиб и др. (2013), (18) – Имаи и др. (2012), (19) – Кусуно и др. (2013), (20) – Менген и др. (2007).

| Звезда           | VLBI                                       |                                | HIPPARCOS-2007                             |                                |
|------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|
|                  | $\mu_\alpha \cos \delta \pm e,$<br>мсд/год | $\mu_\delta \pm e,$<br>мсд/год | $\mu_\alpha \cos \delta \pm e,$<br>мсд/год | $\mu_\delta \pm e,$<br>мсд/год |
| T Lep            | $14.60 \pm 0.50$                           | $-35.43 \pm 0.70$              | $11.43 \pm 0.98$                           | $-33.34 \pm 0.86$              |
| S Crt            | $-3.17 \pm 0.22$                           | $-5.41 \pm 0.22$               | $-3.37 \pm 1.00$                           | $-4.68 \pm 0.75$               |
| W Hya            | $-44.24 \pm 2.04$                          | $-55.28 \pm 2.98$              | $-49.31 \pm 1.48$                          | $-59.71 \pm 1.04$              |
| RX Boo           | $24.55 \pm 1.06$                           | $-49.67 \pm 2.38$              | $21.21 \pm 0.50$                           | $-48.79 \pm 0.46$              |
| S CrB            | $-9.06 \pm 0.23$                           | $-12.52 \pm 0.29$              | $-7.73 \pm 0.57$                           | $-13.03 \pm 1.02$              |
| U Her            | $-14.98 \pm 0.29$                          | $-9.23 \pm 0.32$               | $-15.94 \pm 0.61$                          | $-11.03 \pm 0.69$              |
| RR Aql           | $-25.11 \pm 0.74$                          | $-49.82 \pm 0.54$              | $-25.12 \pm 4.46$                          | $-49.14 \pm 3.23$              |
| R Aqr            | $37.13 \pm 0.47$                           | $-28.62 \pm 0.44$              | $33.00 \pm 1.53$                           | $-25.74 \pm 1.30$              |
| R Cas            | $80.52 \pm 2.35$                           | $17.10 \pm 1.75$               | $85.52 \pm 0.75$                           | $17.49 \pm 0.72$               |
| SY Scl           | $5.57 \pm 0.04$                            | $-7.32 \pm 0.12$               | $4.60 \pm 0.90$                            | $-7.80 \pm 0.90$               |
| UX Cyg           | $-6.91 \pm 0.75$                           | $-12.52 \pm 1.57$              | $-8.90 \pm 1.60$                           | $-9.80 \pm 2.50$               |
| SS Cyg           | $112.42 \pm 0.07$                          | $33.38 \pm 0.07$               | $113.20 \pm 0.90$                          | $33.40 \pm 1.00$               |
| IM Peg           | $-20.83 \pm 0.09$                          | $-27.27 \pm 0.09$              | $-20.73 \pm 0.28$                          | $-27.75 \pm 0.27$              |
| S Per            | $-0.49 \pm 0.35$                           | $-1.19 \pm 0.33$               | $-2.70 \pm 2.20$                           | $-0.29 \pm 1.65$               |
| V773 Tau         | $8.30 \pm 0.50$                            | $-23.60 \pm 0.50$              | $4.11 \pm 2.74$                            | $-24.48 \pm 1.88$              |
| HDE 283572       | $8.88 \pm 0.06$                            | $-26.60 \pm 0.10$              | $6.84 \pm 1.64$                            | $-27.15 \pm 1.12$              |
| T Tau N          | $12.35 \pm 0.04$                           | $-12.80 \pm 0.05$              | $15.51 \pm 1.93$                           | $-13.67 \pm 1.64$              |
| LSI +61 303      | $-0.30 \pm 0.07$                           | $-0.26 \pm 0.05$               | $0.27 \pm 2.91$                            | $2.38 \pm 2.52$                |
| Cyg X-1          | $-3.78 \pm 0.06$                           | $-6.40 \pm 0.12$               | $-3.37 \pm 0.75$                           | $-7.15 \pm 0.86$               |
| Cyg OB2#5        | $-1.64 \pm 0.98$                           | $-7.16 \pm 1.28$               | $-2.14 \pm 1.23$                           | $-2.48 \pm 1.14$               |
| IRAS 22480+6002  | $-2.58 \pm 0.33$                           | $-1.91 \pm 0.17$               | $-2.60 \pm 1.90$                           | $-2.10 \pm 6.10$               |
| PZ Cas           | $-3.70 \pm 0.20$                           | $-2.00 \pm 0.30$               | $-4.15 \pm 0.85$                           | $-3.55 \pm 0.81$               |
| $\theta^1$ Ori A | $4.82 \pm 0.09$                            | $-1.54 \pm 0.18$               | $-0.90 \pm 2.50$                           | $0.10 \pm 2.50$                |



**Два вида разностей: VLBI-HIP1997 (слева) и VLBI-HIP2007 (справа)**



**Два вида разностей: VLBI-HIP1997 (слева) и VLBI-HIP2007 (справа)**

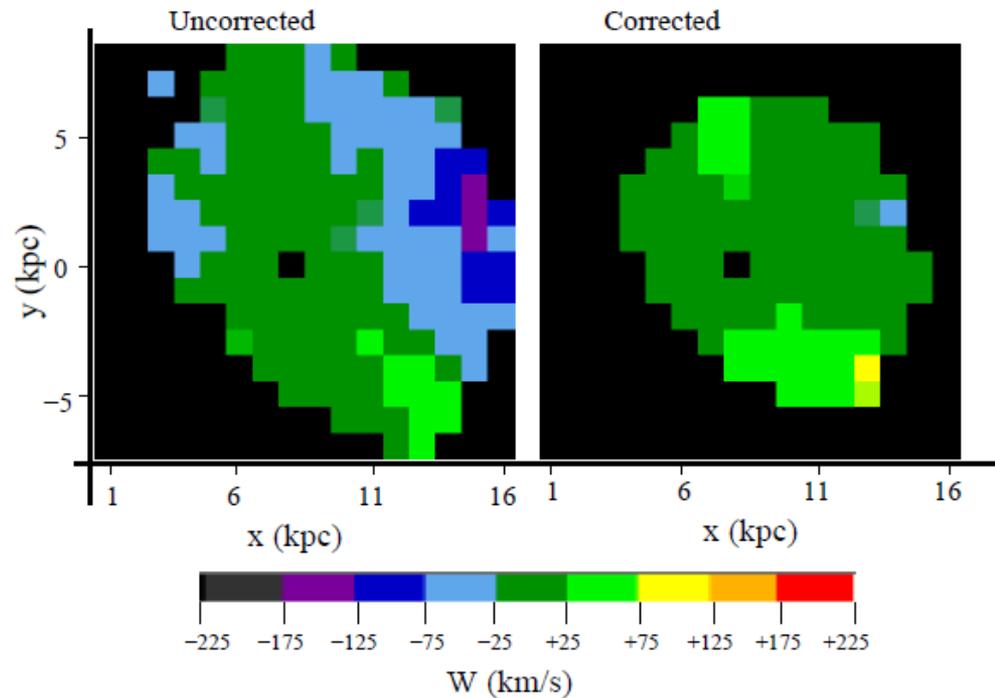
$$\begin{aligned}\Delta\mu_\alpha \cos \delta &= -\omega_x \cos \alpha \sin \delta - \\ &- \omega_y \sin \alpha \sin \delta + \omega_z \cos \delta, \\ \Delta\mu_\delta &= +\omega_x \sin \alpha - \omega_y \cos \alpha,\end{aligned}$$

**Из сравнения измерений 23 мазеров с собственными движениями звезд из оптических каталогов системы HCRF (HIPPARCOS и UCAC4) найдены компоненты вектора остаточного вращения этой системы (HCRF) относительно инерциальной системы координат (мазеры), которые составили  $(\omega_x, \omega_y, \omega_z) = (-0.39, -0.51, -1.25) \pm (0.58, 0.57, 0.56)$  мсд/год.**

Таблица 3: Компоненты вектора остаточного вращения оптической реализации системы ICRS/HIPPARCOS относительно инерциальной системы координат.

| Метод         | $N_{\star}$     | $N_{\text{area}}$ | $\omega_x$ , мсд/год | $\omega_y$ , мсд/год | $\omega_z$ , мсд/год |
|---------------|-----------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| VLBI-1999     | 12              |                   | $-0.16 \pm 0.30$     | $-0.17 \pm 0.26$     | $-0.33 \pm 0.30$     |
| NPM1          | 2616            | 899               | $-0.76 \pm 0.25$     | $+0.17 \pm 0.20$     | $-0.85 \pm 0.20$     |
| Kiev          | 415             | 154               | $-0.27 \pm 0.80$     | $+0.15 \pm 0.60$     | $-1.07 \pm 0.80$     |
| Potsdam       | 256             | 24                | $+0.22 \pm 0.52$     | $+0.43 \pm 0.50$     | $+0.13 \pm 0.48$     |
| Bonn          | 88              | 13                | $+0.16 \pm 0.34$     | $-0.32 \pm 0.25$     | $+0.17 \pm 0.33$     |
| EOP           |                 |                   | $-0.93 \pm 0.28$     | $-0.32 \pm 0.28$     | —                    |
| HST           | 78              |                   | $-1.60 \pm 2.87$     | $-1.92 \pm 1.54$     | $+2.26 \pm 3.42$     |
| SPM2          | 9356            | 156               | $+0.10 \pm 0.17$     | $+0.48 \pm 0.14$     | $-0.17 \pm 0.15$     |
| PUL2          | 1004            | 147               | $-0.98 \pm 0.47$     | $-0.03 \pm 0.38$     | $-1.66 \pm 0.42$     |
| XPM           | $1 \times 10^6$ | 1431              | $-0.06 \pm 0.15$     | $+0.17 \pm 0.14$     | $-0.84 \pm 0.14$     |
| Minor Planets | 116             |                   | $+0.12 \pm 0.08$     | $+0.66 \pm 0.09$     | $-0.56 \pm 0.16$     |
| VLA+PT-2007   | 46              |                   | $-0.55 \pm 0.34$     | $-0.02 \pm 0.36$     | $+0.41 \pm 0.37$     |
| VLBI-2014     | 23              |                   | $-0.39 \pm 0.58$     | $-0.51 \pm 0.57$     | $-1.25 \pm 0.56$     |
| Среднее 1     |                 |                   | $-0.29 \pm 0.12$     | $+0.06 \pm 0.10$     | $-0.55 \pm 0.20$     |
| Среднее 2     |                 |                   | $-0.15 \pm 0.11$     | $+0.24 \pm 0.10$     | $-0.53 \pm 0.13$     |

Примечание:  $N_{\star}$  — количество звезд/астероидов,  $N_{\text{area}}$  — количество площадок на небесной сфере, среднее 1 — простое среднее (без HST), среднее 2 — взвешенное среднее.



**Fig. 3.** Average vertical velocity using PPMXL data as a function of Galactocentric Cartesian coordinates  $x$ ,  $y$  (the position of the Sun is  $x = 8$  kpc,  $y = 0$ ) for  $|z| < 2$  kpc. Only bins with error bars lower than 50 km/s are plotted; black indicates larger errors or absence of data. The left panel is the weighted average of the bins without correcting for systematic errors of the proper motion. The right panel is the weighted average of the bins including the correction for systematic errors of the proper motion.

# ВЫВОДЫ

По литературным данным собраны результаты РСДБ-измерений абсолютных собственных движений 23 радиозвезд. Это звезды с мазерным излучением, либо это очень молодые звезды, либо гиганты асимптотической ветви.

Из сравнения этих измерений с собственными движениями звезд из оптических каталогов системы HCRF (HIPPARCOS Celestial Reference Frame) найдены компоненты вектора остаточного вращения этой системы относительно инерциальной системы координат, которые составили

$$(\omega_x, \omega_y, \omega_z) = (-0.39, -0.51, -1.25) \pm (0.58, 0.57, 0.56) \text{ мсд/год.}$$

На основе всех имеющихся данных определены новые значения компонент вектора остаточного вращения оптической реализации системы HCRF относительно инерциальной системы координат, которые составили

$$(\omega_x, \omega_y, \omega_z) = (-0.15, +0.24, -0.53) \pm (0.11, 0.10, 0.13) \text{ мсд/год.}$$