

Видимые движения квазаров и прецессионные постоянные

В.Е.Жаров

Государственный астрономический ин-т им.П.К.Штернберга

Москва

**Всероссийская астрометрическая
конференция «Пулково-2015»**

21 сентября – 25 сентября 2015

International Celestial Reference System (ICRS)

International Celestial Reference Frame (ICRF)

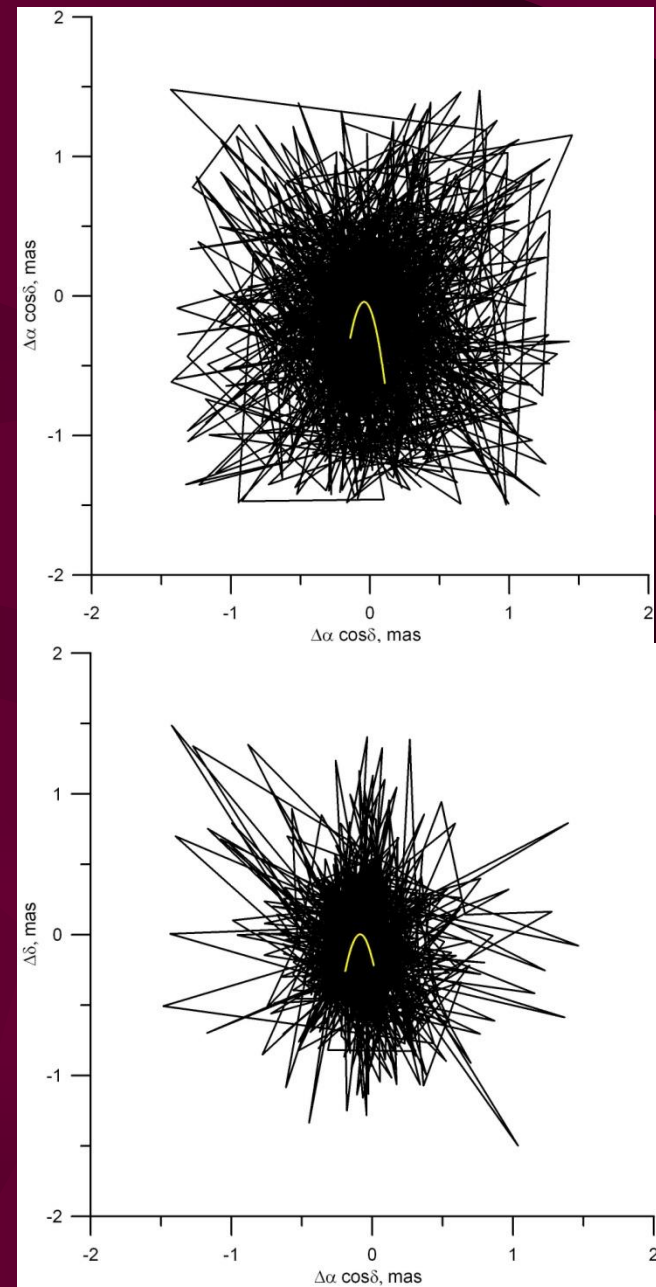
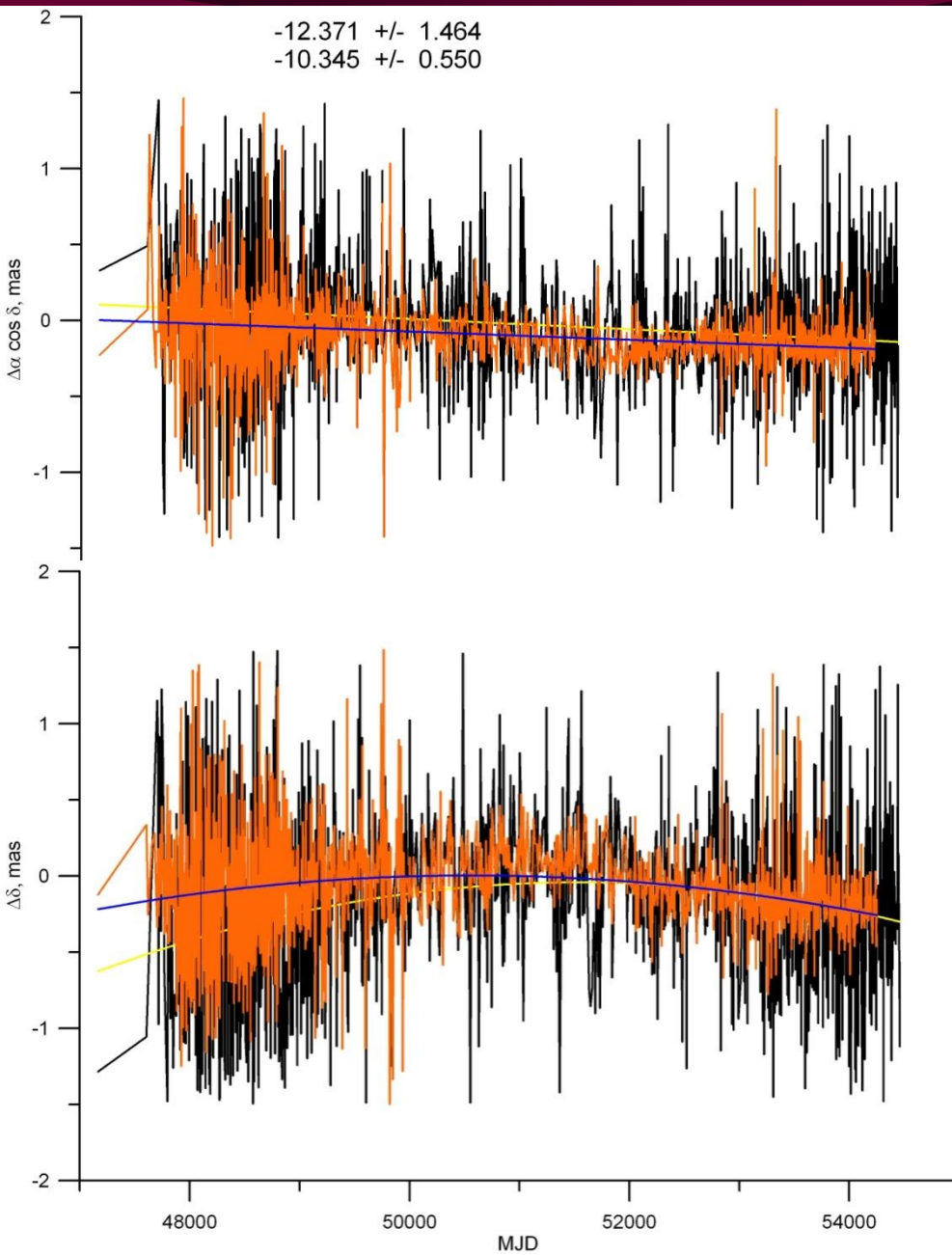
Определение стабильности ICRS.

Координатные оси системы фиксированы относительно внегалактических радиоисточников.

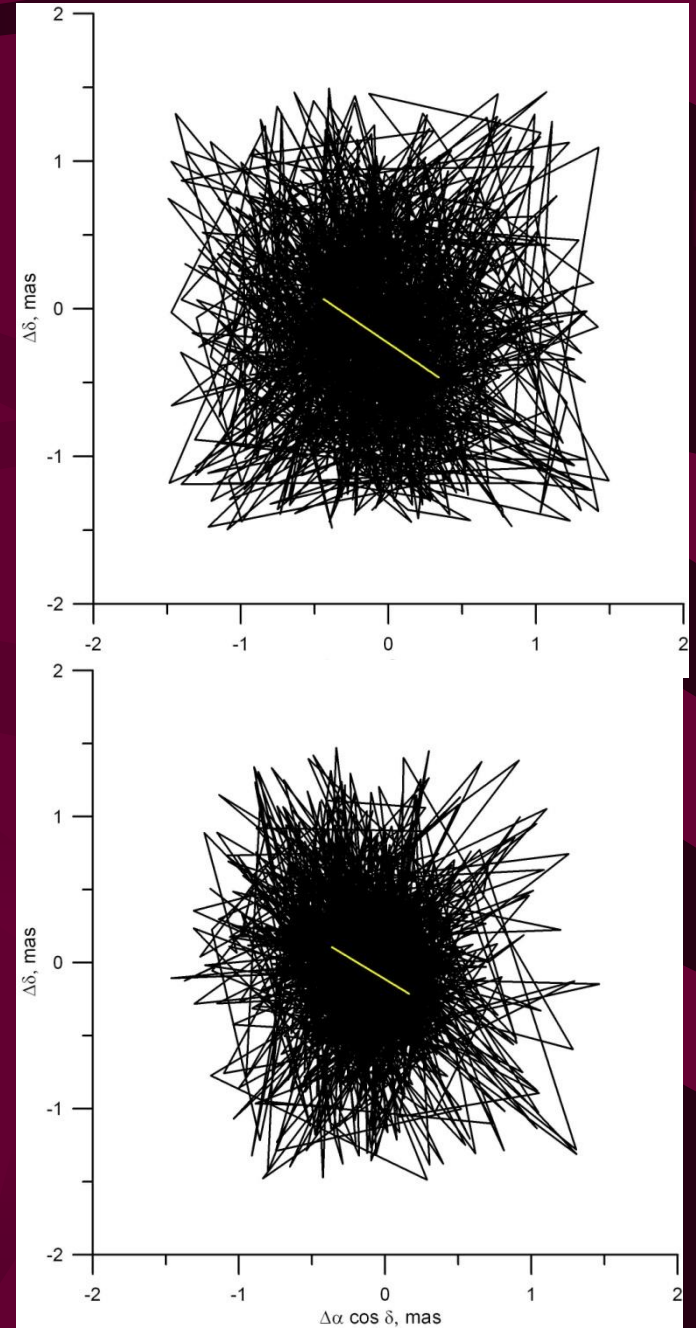
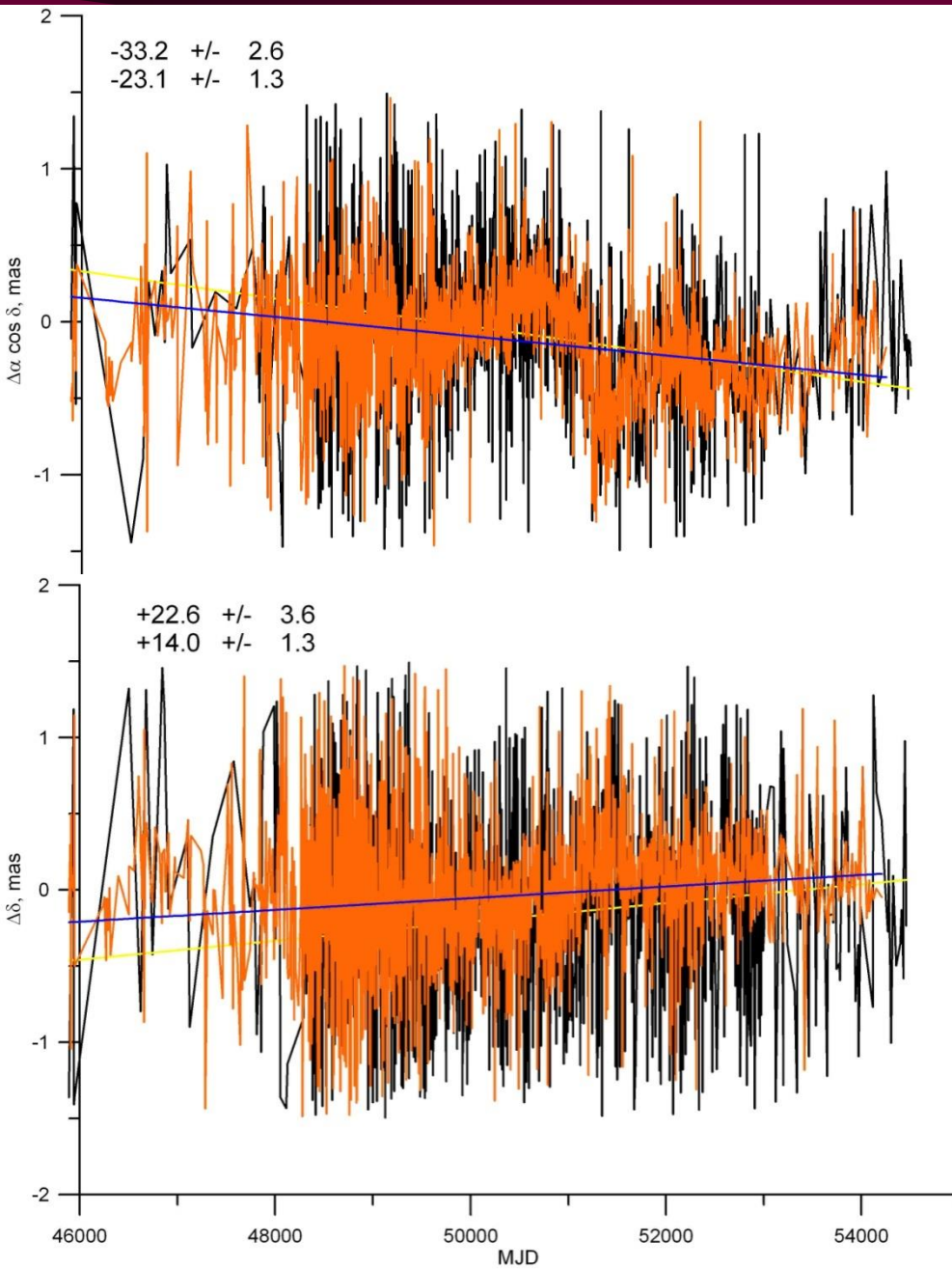
Стабильность, поэтому, основана на гипотезе, что собственные движения этих источников пренебрежимо малы.

При разработке ICRF-2 было доказано, что многие радиоисточники имеют значительные «видимые» движения.

Движение 1611+343



Движение 2145+067 (был «определяющим»)



Видимые движения радиоисточников

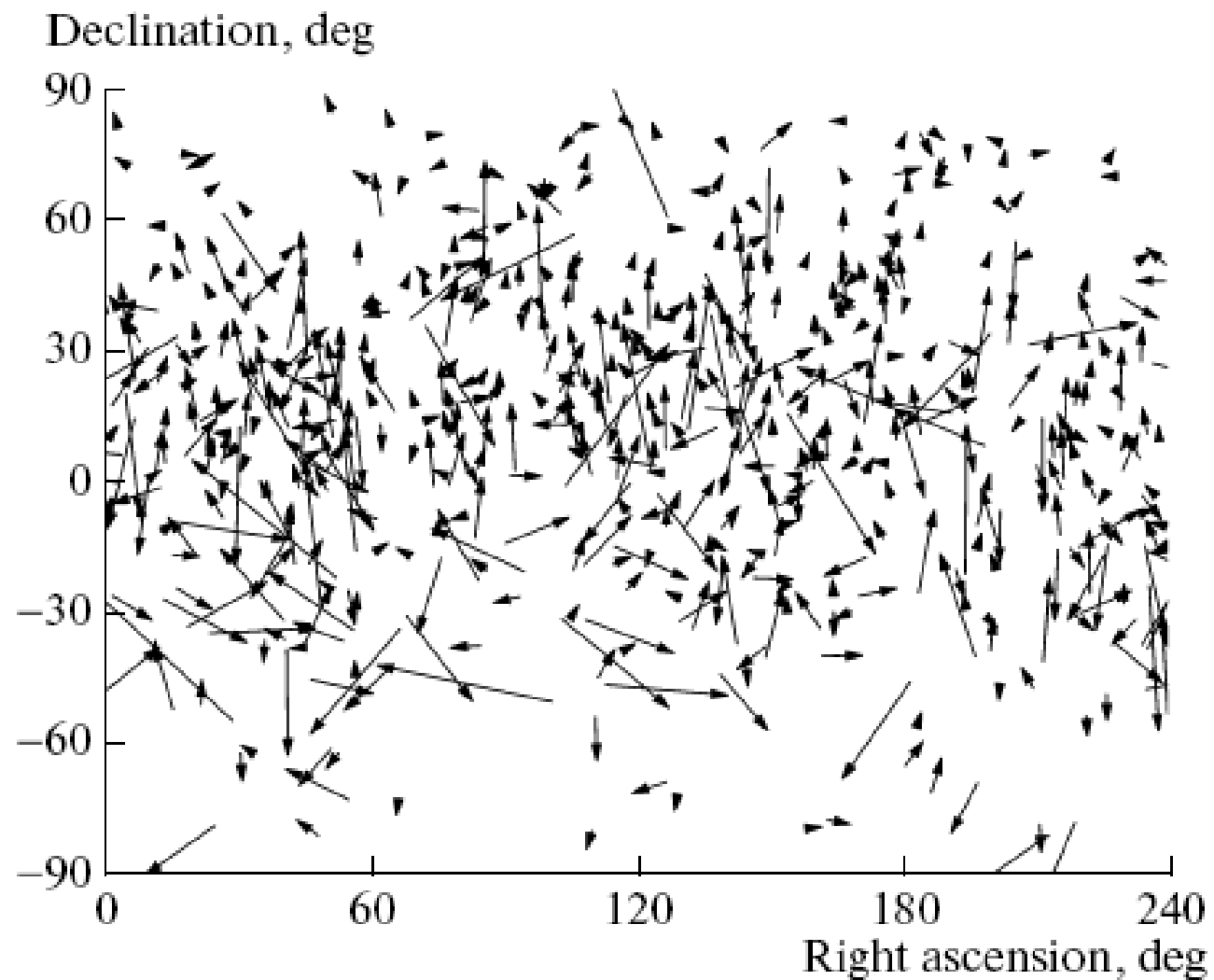
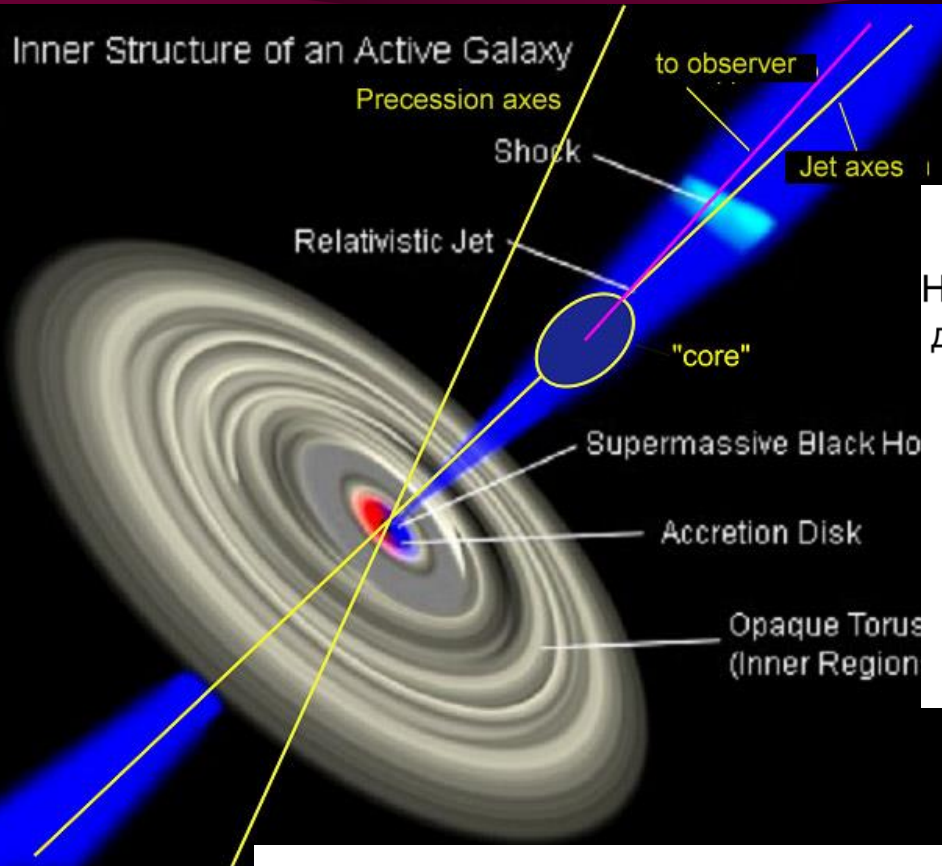


Fig. 1. The distribution of the apparent motions of radio sources depending in right ascension and declination.

Выводы

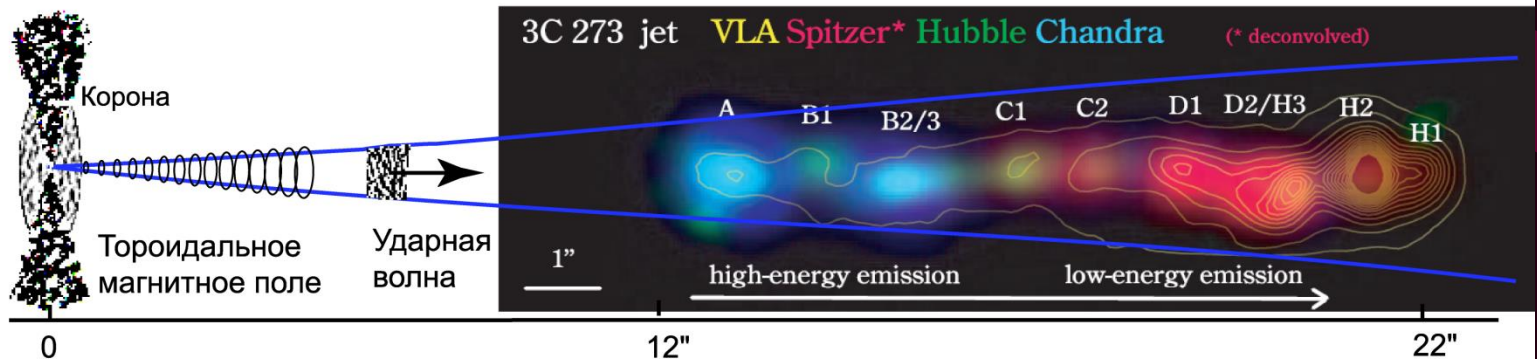
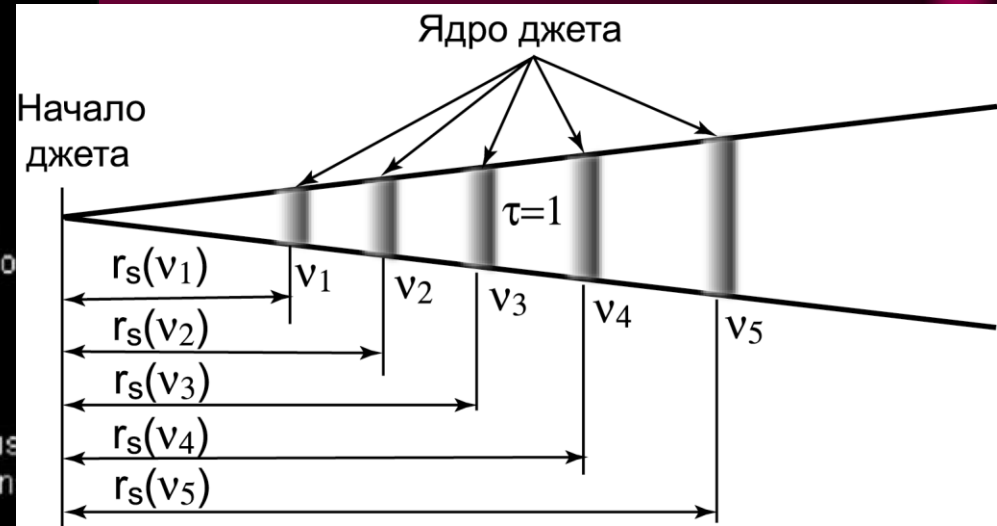
1. Многие внегалактические радиоисточники из списка ICRF-2 **в действительности имеют значительные видимые движения.**
2. Движения включают как систематическую, так и случайную составляющую (должны быть физические причины таких движений)
3. Систематическая часть: «галактическая» абберрация (Титов, Малкин)
4. Случайная часть: прецессия джета квазара и движение «ядра» в джете

Физика джета и понятие «радиоисточник»



$$r_s \sim v^{-1} \Rightarrow$$

$$8\text{GHz} \rightarrow 40\text{GHz} \Delta\tau_g \approx 10 \div 20 \text{ ns} !$$



Цель работы: использование видимых движений для оценки точности определения постоянных прецессии (или оценка вклада поправок к постоянным прецессии в систематическую часть видимых движений)

Актуальность работы: разработка новой теории прецессии-нутаии, будущие каталоги (GAIA) с мкс точностью

Алгоритм обработки

Преобразование координат TRF $\longrightarrow$ GCRF

$$\vec{r}_{GCRS} = Q(t)R(t)W(t)\vec{r}_{ITRS}$$

$$Q(t) = BP(t)N(t)$$

(the equinox-based transformation matrix for precession-nutation)

$$P(t) = R_1(-\varepsilon_0) \cdot R_3(\psi_A) \cdot R_1(\omega_A) \cdot R_3(-\chi_A)$$

$$\psi_A = 5038.481507'' t - 1.0790069'' t^2 - 0.00114045 t^3 + 0.000132851'' t^4 - 0.00000000951'' t^5$$

$$\omega_A = \varepsilon_0 - 0.025754'' t + 0.0512623'' t^2 - 0.00772503'' t^3 - 0.000000467'' t^4 + 0.0000003337'' t^5$$

$$\begin{aligned} \chi_A = & 10.556403'' t - 2.3814292'' t^2 - 0.00121197'' t^3 \\ & + 0.000170663'' t^4 - 0.00000000560'' t^5, \end{aligned}$$

$$(\delta\psi_A = (-0.29965 \pm 0.00040)''/\text{century}, \delta\omega_A = (-0.02524 \pm 0.00010)''/\text{century})$$

Движение источников из-за прецессии

$$t_0 = J 2000.0 \rightarrow t$$

$$P^T(t) = R_3(\chi_A) \cdot R_1(-\omega_A) \cdot R_3(-\psi_A) \cdot R_1(\varepsilon_0)$$

$$\vec{r}(t) = P^T(t) \vec{r}_0 = P^T(t) \begin{pmatrix} \cos \delta_0 \cos \alpha_0 \\ \cos \delta_0 \sin \alpha_0 \\ \sin \delta_0 \end{pmatrix}$$

$$\frac{d\vec{r}(t)}{dt} = \begin{pmatrix} -\mu_\delta \sin \delta \cos \alpha - \mu_\alpha \cos \delta \sin \alpha \\ -\mu_\delta \sin \delta \sin \alpha + \mu_\alpha \cos \delta \cos \alpha \\ \mu_\delta \cos \delta \end{pmatrix} = \frac{d}{dt} P^T(t) \vec{r}_0(t) = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} \mu_\alpha(t) \cos \delta = -F_1 \sin \alpha + F_2 \cos \alpha \\ \mu_\delta(t) = F_3 / \cos \delta \end{cases}$$

Движение из-за прецессии - 2

$$\psi_A \rightarrow \psi_A + \delta\psi_A$$

$$\omega_A \rightarrow \omega_A + \delta\omega_A$$

$$\chi_A \rightarrow \chi_A + \delta\chi_A$$

$$P^T(t) = R_3(\chi_A + \delta\chi_A) \cdot R_1(-\omega_A - \delta\omega_A) \cdot R_3(-\psi_A - \delta\psi_A) \cdot R_1(\varepsilon_0)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta\mu_\alpha(t) \cos \delta = -F_1(\delta\psi_A, \delta\omega_A, \delta\chi_A) \sin \alpha + F_2(\delta\psi_A, \delta\omega_A, \delta\chi_A) \cos \alpha \\ \delta\mu_\delta(t) = F_3(\delta\psi_A, \delta\omega_A, \delta\chi_A) / \cos \delta \end{array} \right\}$$

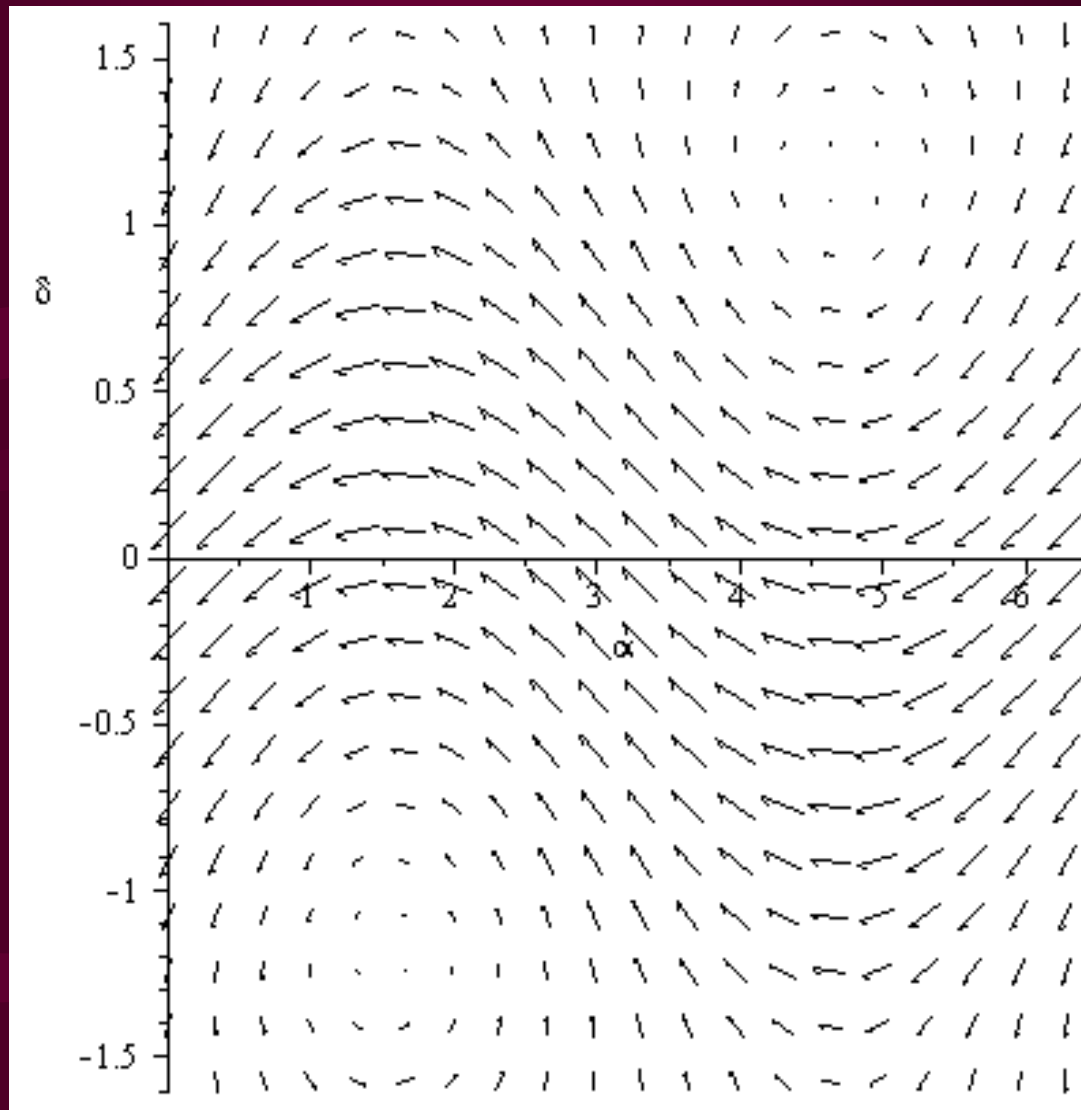
$$\delta\mu_\alpha(t) \approx \text{const}, \quad \delta\mu_\delta(t) \approx \text{const}$$

Движение при

$$\delta\psi_A \neq 0, \delta\omega_A = 0, \delta\chi_A = 0$$

$$\mu_\alpha(t) \cos \delta = \delta\psi_A (-\cos \varepsilon_0 \cos \delta + \sin \varepsilon_0 \sin \delta \sin \alpha)$$

$$\mu_\delta(t) = -\delta\psi_A \sin \varepsilon_0 \cos \alpha$$

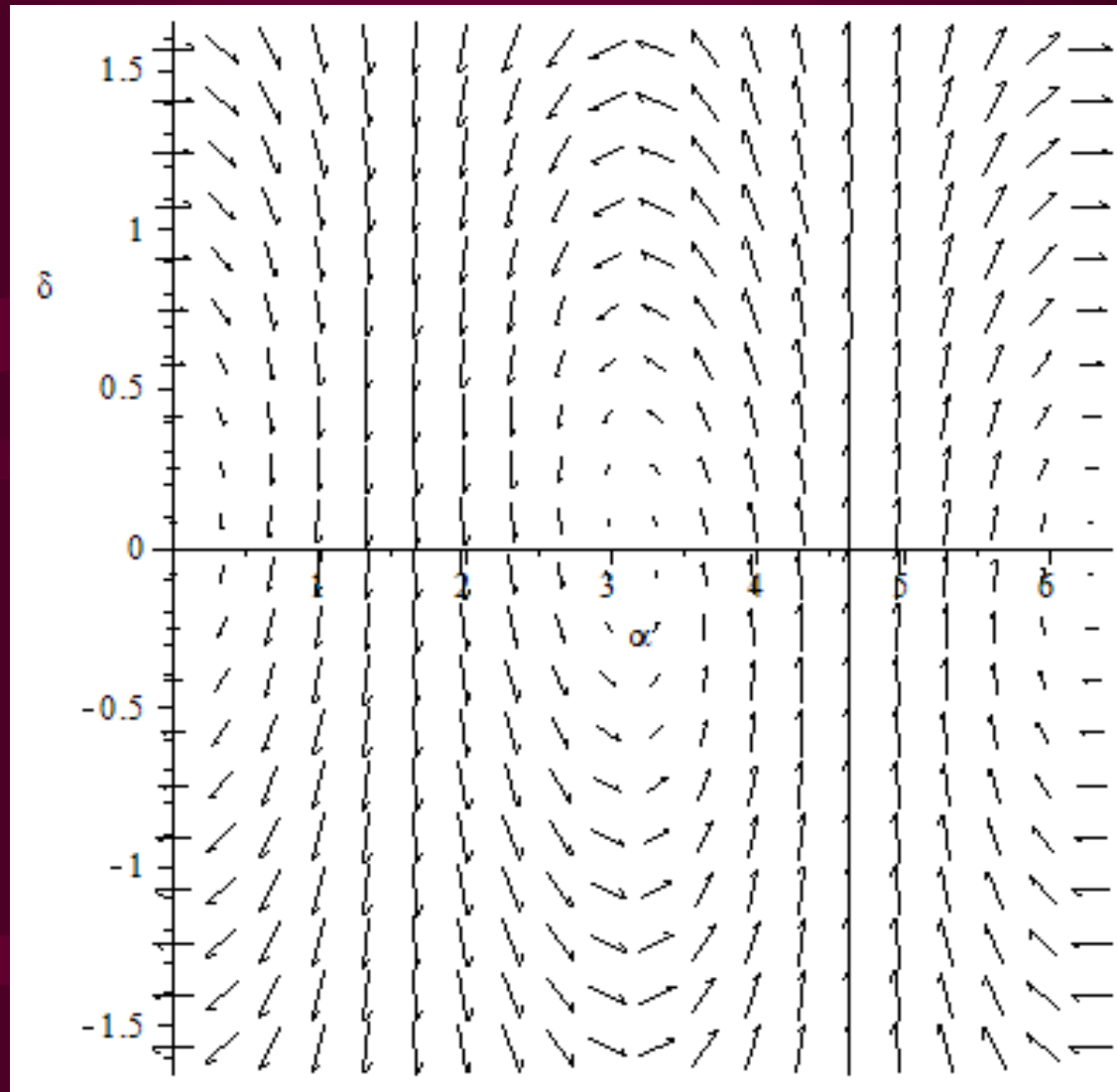


Движение при

$$\delta\psi_A = 0, \delta\omega_A \neq 0, \delta\chi_A = 0$$

$$\mu_\alpha(t) \cos \delta = \delta\omega_A (-\sin \varepsilon_0 \cos \varepsilon_0 \cos \delta \sin \alpha + \cos^2 \varepsilon_0 \sin \delta) \cos \alpha$$

$$\mu_\delta(t) = -\delta\omega_A \sin \alpha$$

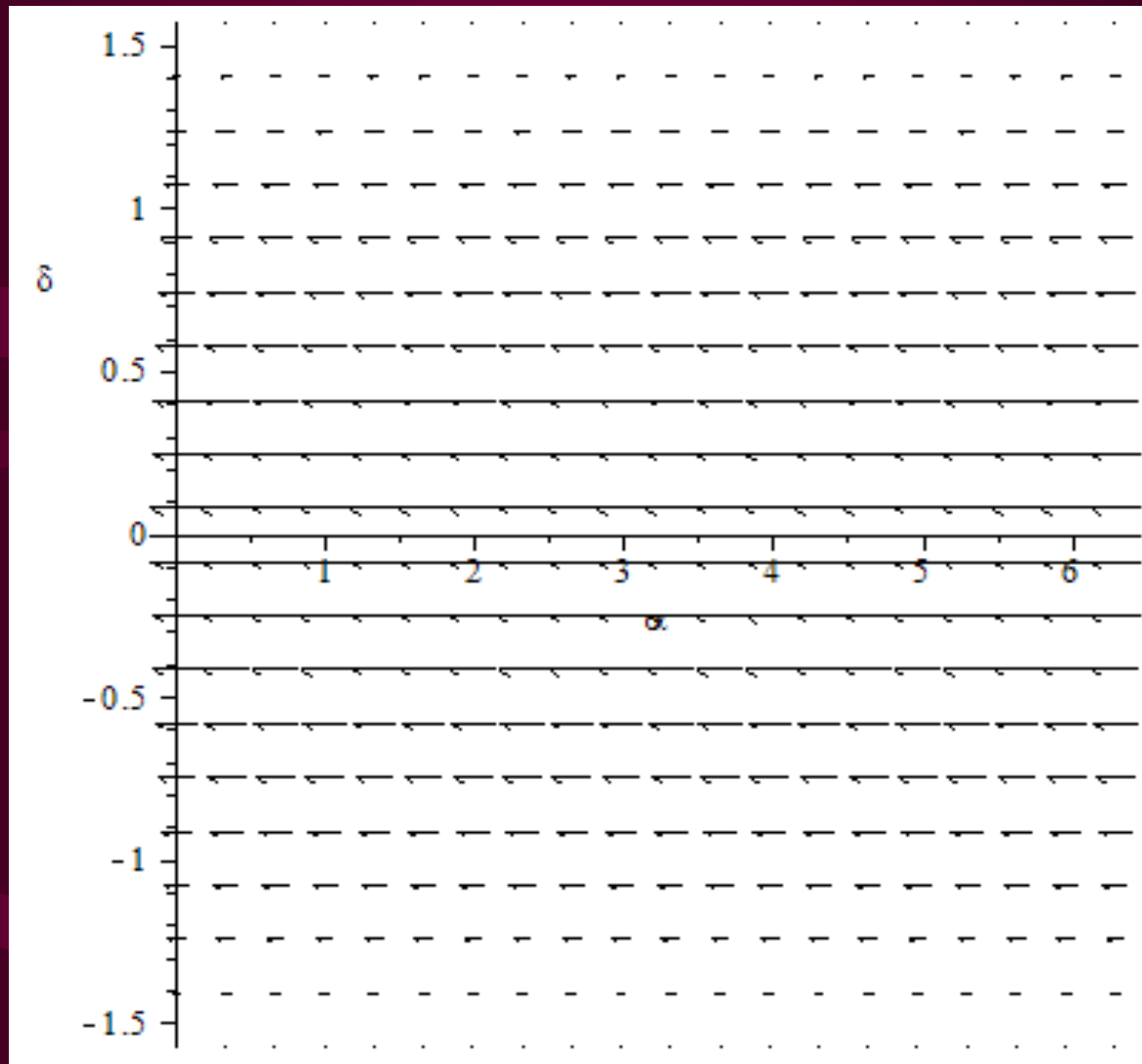


Движение при

$$\delta\psi_A = 0, \delta\omega_A = 0, \delta\chi_A \neq 0$$

$$\mu_\alpha(t) \cos \delta = -\delta\chi_A \cos \delta$$

$$\mu_\delta(t) = 0$$



Галактическая абберация

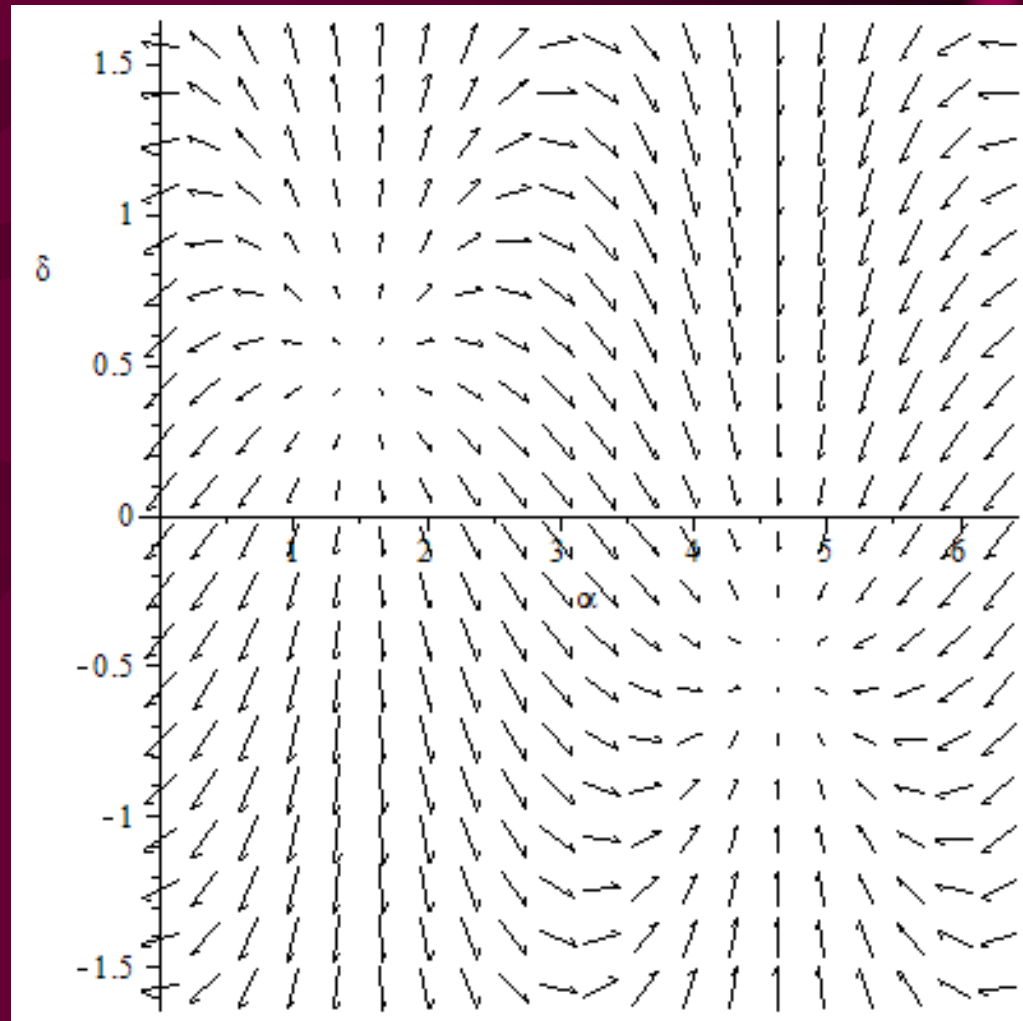
$$\mu_\alpha \cos \delta = -A \cos \alpha_G \cos \delta_G \sin \alpha + A \sin \alpha_G \cos \delta_G \cos \alpha$$

$$\mu_\delta = -A \cos \alpha_G \cos \delta_G \cos \alpha \sin \delta - A \sin \alpha_G \cos \delta_G \sin \alpha \sin \delta + A \sin \delta_G \cos \delta$$

$$A = \frac{R\Omega^2}{c} = 5.02 \text{ } \mu\text{as} / \text{year}$$

$$(R = 8.2 \text{ kpc}, \Omega = 29.5 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1})$$

$$\alpha_G = 266.^\circ 4051, \delta_G = -28.^\circ 936175$$



Решение

$$\mu_{\alpha} \cos \delta = -A_1 \sin \alpha + A_2 \cos \alpha + \\ + d\psi_A \cdot f_1'(\alpha, \delta) + d\omega_A \cdot f_2'(\alpha, \delta) + d\chi_A \cdot f_2'(\alpha, \delta)$$

$$\mu_{\delta} = -A_1 \cos \alpha \sin \delta - A_2 \sin \alpha \sin \delta + A_3 \cos \delta + \\ + d\psi_A \cdot f_1''(\alpha, \delta) + d\omega_A \cdot f_2''(\alpha, \delta) + d\chi_A \cdot f_2''(\alpha, \delta)$$

$$A_1 = A \cos \alpha_G \cos \delta_G$$

$$A_2 = A \sin \alpha_G \cos \delta_G$$

$$A_3 = A \sin \delta_G$$

$$b = Mx, \quad b(n \times 1), \quad M(n \times m), \quad x(m \times 1)$$

$$m = 4 \Rightarrow A, d\psi_A, d\omega_A, d\chi_A$$

Решение ($\mu as / year$)

Жаров

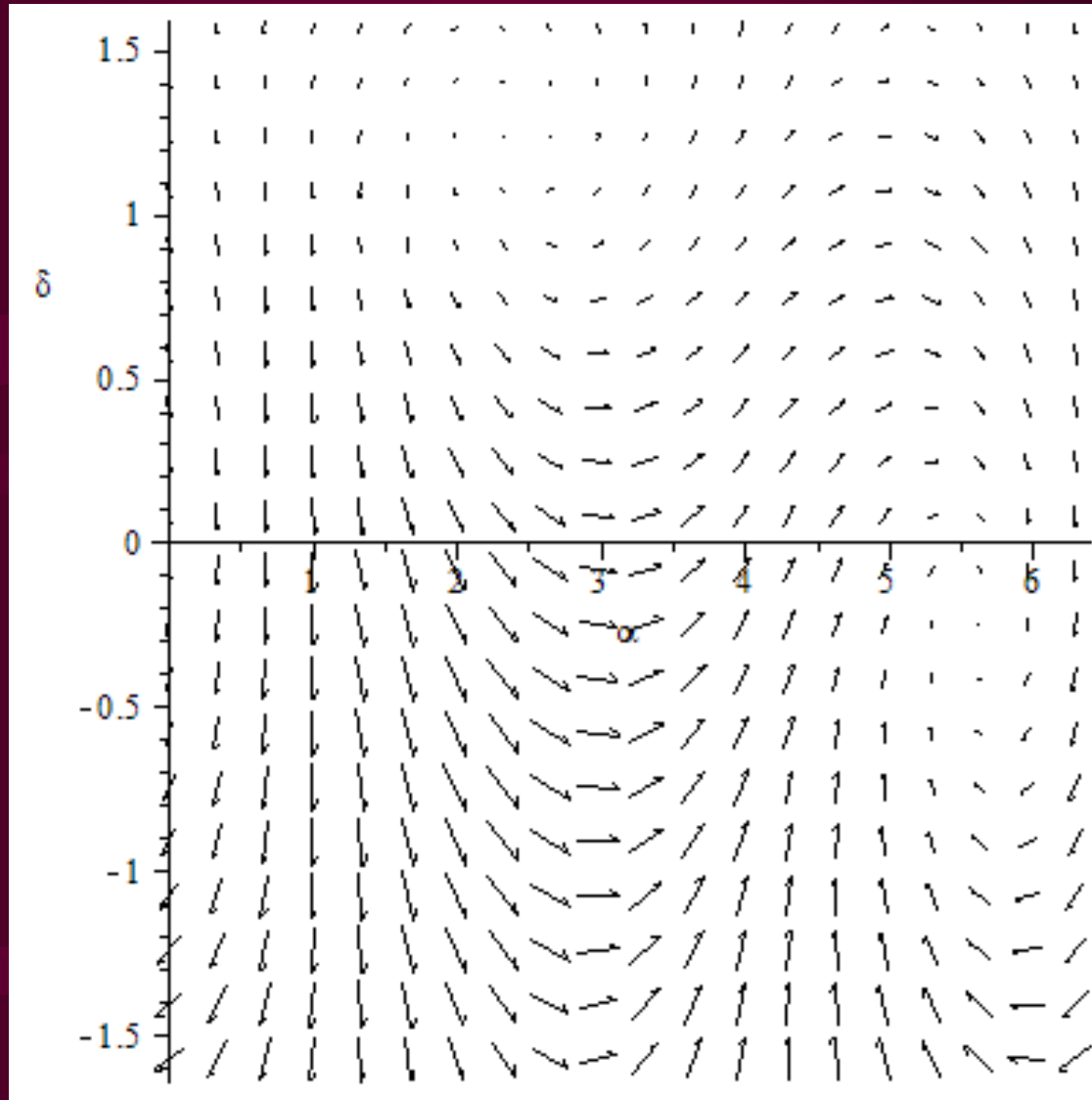
ТИТОВ

n	A	$d\psi_A$	$d\omega_A$	$d\chi_A$
356 (>20)	2.2 +/- 3.1	6.3 +/- 6.8	-13.8 +/- 2.6	-4.6 +/- 7.2
246 (>70)	10.2 +/- 2.1	12.9 +/- 4.8	8.8 +/- 1.9	-19.2 +/- 5.1
196 (>150)	9.9 +/- 2.2	-5.0 +/- 4.9	6.6 +/- 2.0	-5.4 +/- 5.0
174 (>200)	7.4 +/- 2.0	10.1 +/- 5.0	8.4 +/- 2.0	-15.6 +/- 5.5

n	A	$d\psi_A$	$d\omega_A$	$d\chi_A$
842 (>20)	-0.5 +/- 2.5	1.2 +/- 5.2	-18.4 +/- 2.7	-12.0 +/- 5.0
450 (>70)	0.6 +/- 3.0	-7.2 +/- 5.8	-7.8 +/- 3.4	-0.7 +/- 5.8
324 (>150)	12.0 +/- 2.1	6.9 +/- 5.0	-0.4 +/- 2.4	-20.8 +/- 5.0
286 (>200)	6.3 +/- 2.3	0.1 +/- 5.3	2.5 +/- 2.4	-14.1 +/- 5.4

Движение при

$$A = 7.4, \delta\psi_A = 10.1, \delta\omega_A = 8.4, \delta\chi_A = -15.6$$



Выводы

Предполагается, что видимые движения радиоисточников не являются ошибками измерений и вычислений, а являются реальными физическими процессами .

Предполагается, что видимые движения радиоисточников включают как систематическую, так и случайную составляющую.

Движение источников может быть объяснено простой моделью: прецессией джета и движением облаков, попадающих в джет (случайная составляющая).

Движение источников отражает движение Солнечной системы в Галактике (галактическая аберрация), а также неточность прецессионных постоянных (систематическая составляющая).

Вклад последних в движение составляет мкс дуги в год.

Спасибо за внимание!