

Сравнение тригонометрических параллаксов звезд TGAS и Hipparcos

Дипломная работа

Патшин Антон Сергеевич
научный руководитель: доцент А.С. Цветков

Санкт-Петербургский государственный университет

Введение

Постановка задачи

- Высокая формальная точность Hipparcos и TGAS
- Указание на систематические ошибки параллаксов Hipparcos (в том числе, аппарат Hubble, 2007)
- Впервые появилась возможность сравнить параллаксы для большого числа звезд (ранее только координаты и с.д.) – стандартная астрометрическая задача

Актуальность

Миссия Gaia (TGAS) – в процессе

Каталог Hipparcos

- Содержит 118 324 объекта

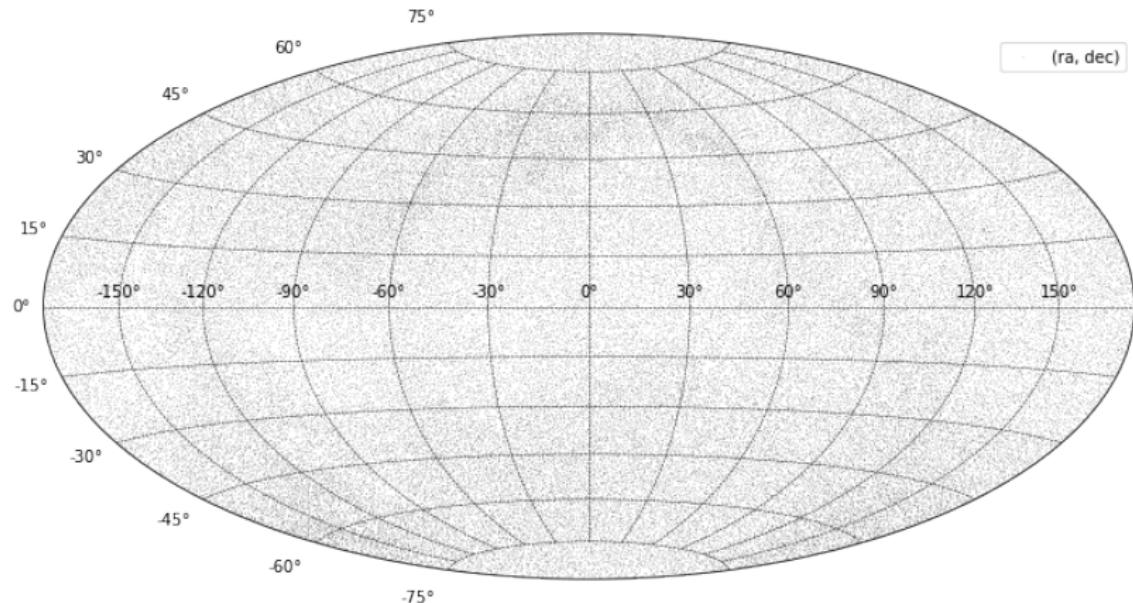
Подкаталог TGAS

- Tycho-2 (1 963 415)
- Hipparcos (93 635)

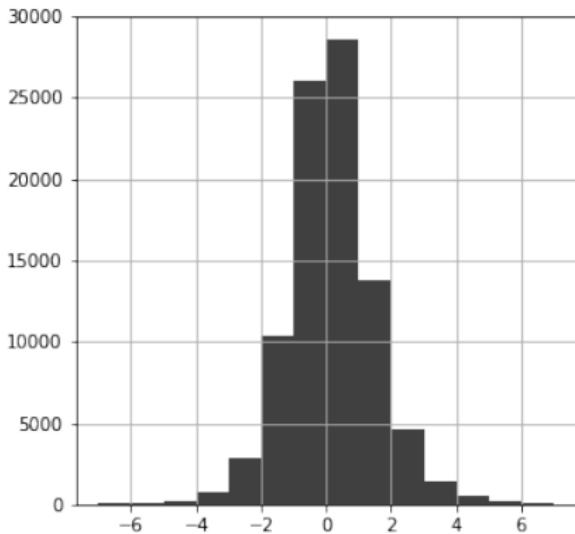
Объединённый каталог

- Пересечение Hip и TGAS
- 90 283 объекта

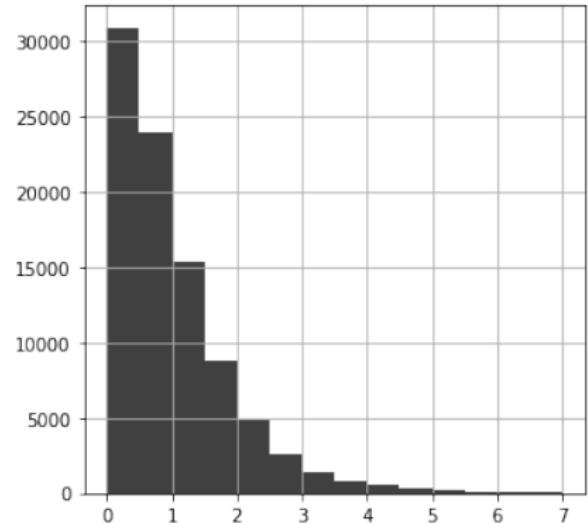
$$\begin{aligned}\pi_{dif} &= \frac{\pi_{hip} - \pi_{tgas}}{\sqrt{\sigma_{\pi_{hip}}^2 + \sigma_{\pi_{tgas}}^2}}, \\ \sigma_{dif} &= \sqrt{\sigma_{\pi_{hip}}^2 + \sigma_{\pi_{tgas}}^2}\end{aligned}\quad (1)$$



Распределение звезд из объединённого каталога на небесной сфере в экваториальной СК



Гистограмма разности
параллаксов общего каталога



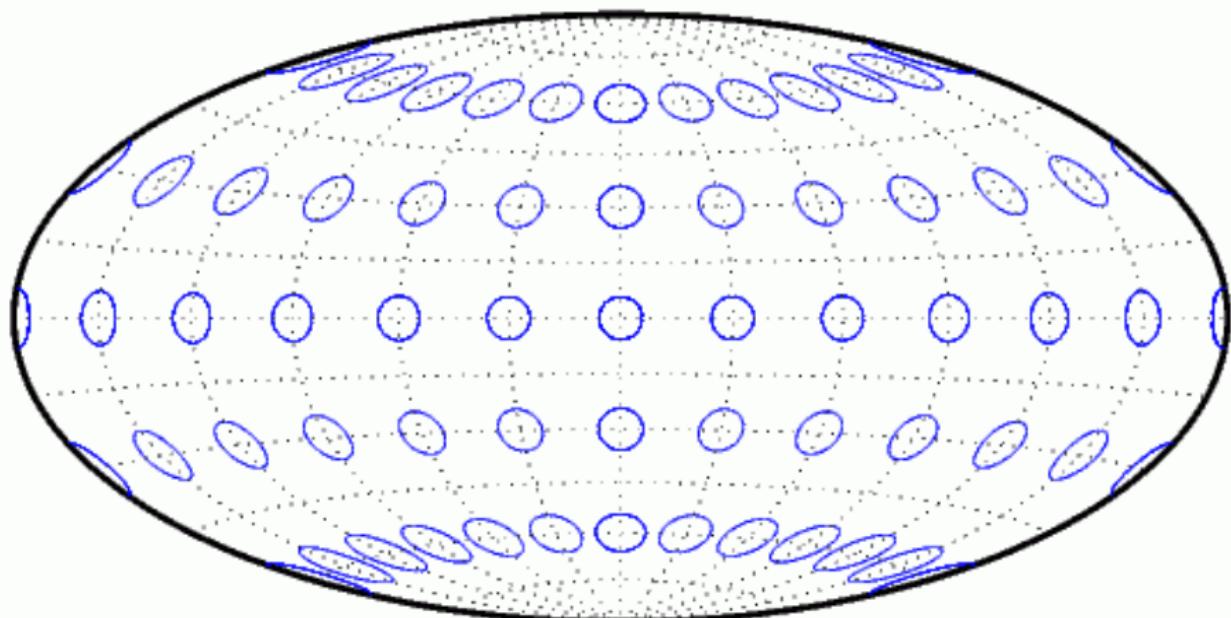
Гистограмма модуля разности
параллаксов общего каталога

Предварительный анализ

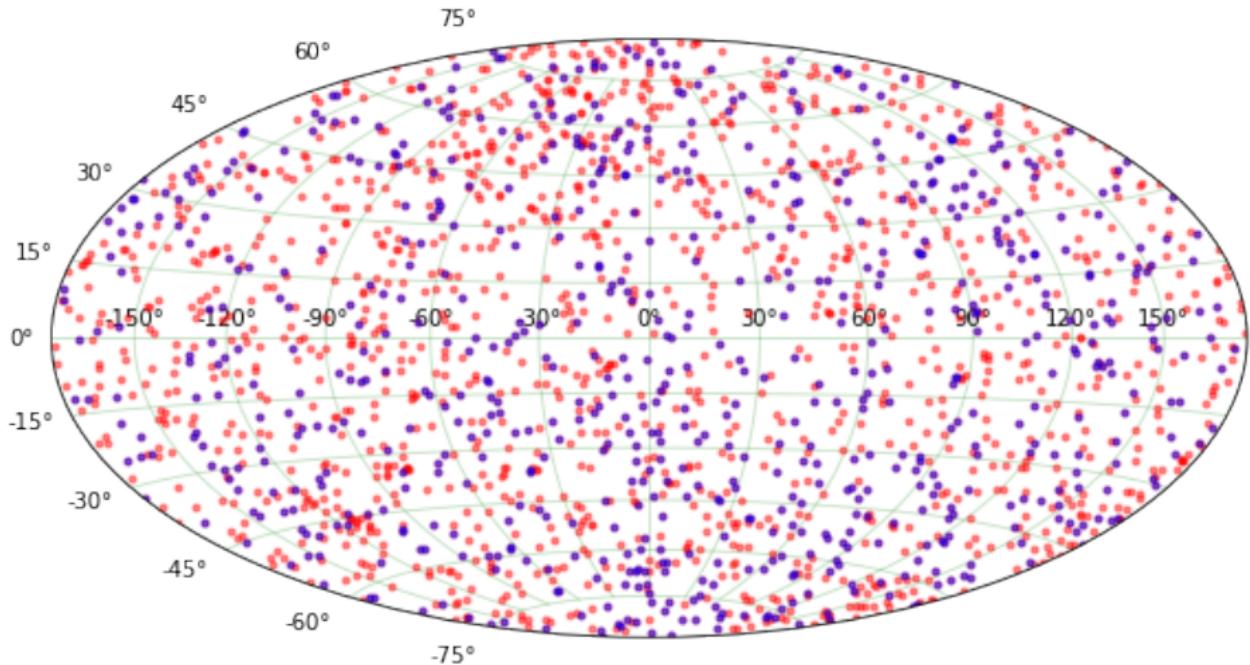
Общие статистики по объединённому каталогу

	π_{tgas}	π_{hip}	π_{dif}	$\pi_{dif_{abs}}$	$\delta_{\pi_{tgas}}$	$\delta_{\pi_{hip}}$	n_{obs}
count	90283	90283	90283	90283	90283	90283	90283
mean	6.812	7.02	0.21	1.07	0.33	1.05	117.48
std	8.564	8.64	1.71	1.35	0.13	0.82	42.86
min	0.002	0.01	-42.35	$5.4 \cdot 10^{-7}$	0.20	0.09	20
25%	2.506	2.67	-0.61	0.35	0.24	0.68	86
50%	4.369	4.66	0.14	0.77	0.28	0.91	113
75%	7.984	8.33	0.93	1.40	0.35	1.21	140
max	295.8	298.0	90.05	90.05	0.99	47.48	388

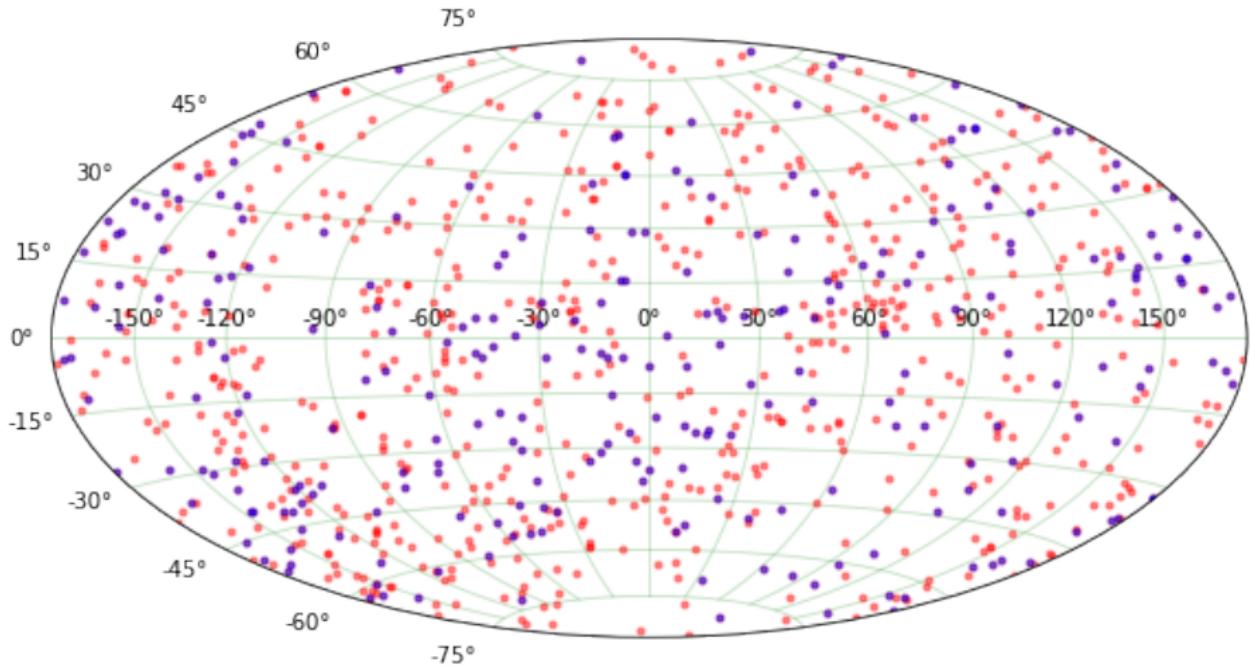
Случайные выборы



Проекция Хаммер-Айтофа с эллипсами равных площадей



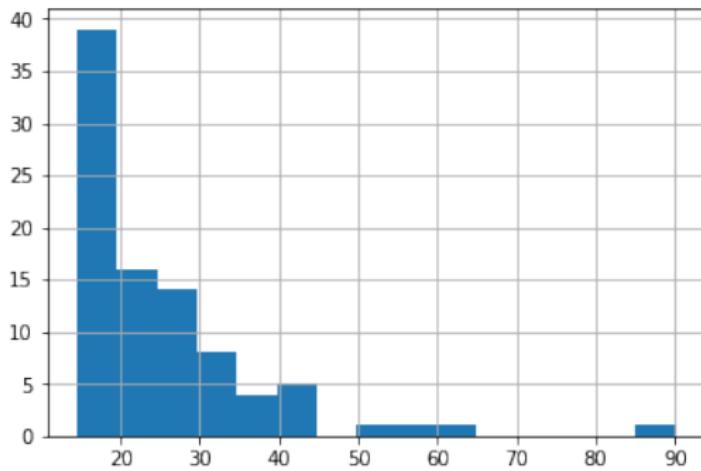
Распределение объектов, для которых модуль разности параллаксов больше 3 ошибок, на небесной сфере в экваториальной СК. Красные (1262) - положительные по знаку разности параллаксов, синие (692)- отрицательные.



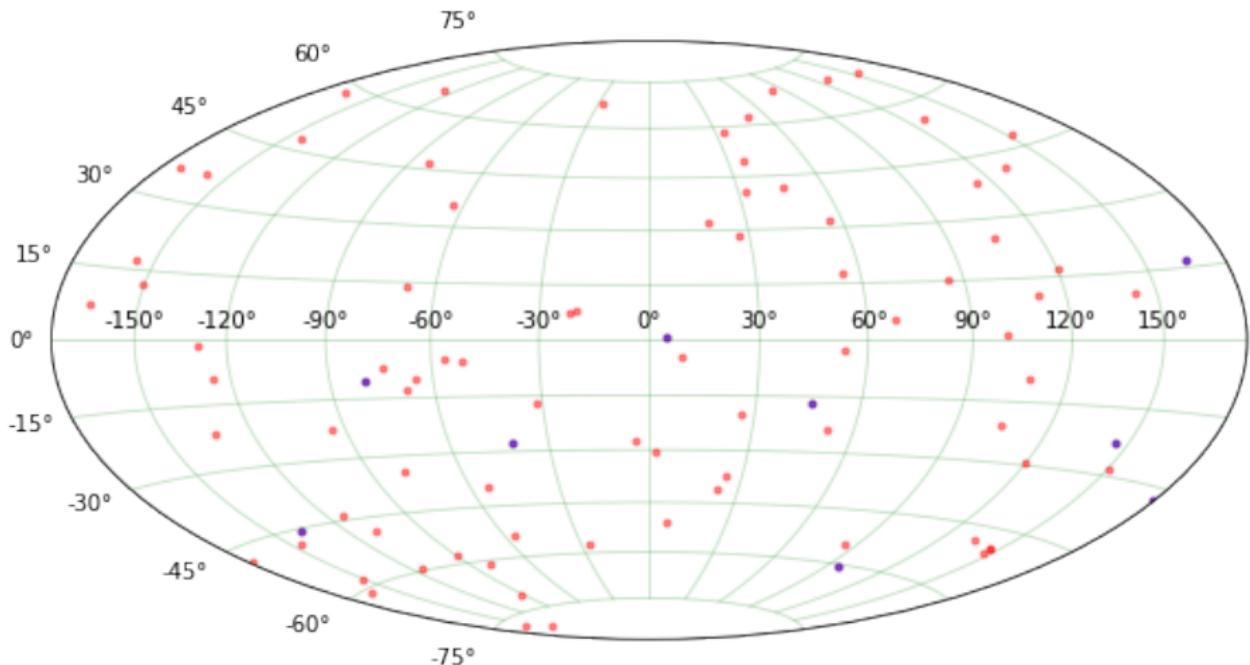
Распределение объектов, для которых модуль разности параллаксов больше 3 среднеквадратических отклонений, в экваториальной СК. Красные (601) - положительные разности параллаксов, синие (272) - отрицательные.

Большие выбросы

Визуализируем звезды, для которых модуль разности превосходит 14.53 mas (99.9 перцентиль)

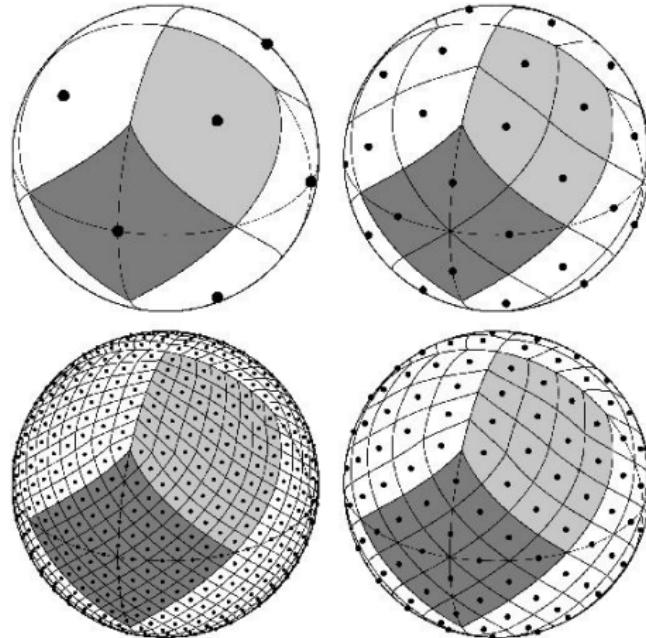


Гистограмма выбросов

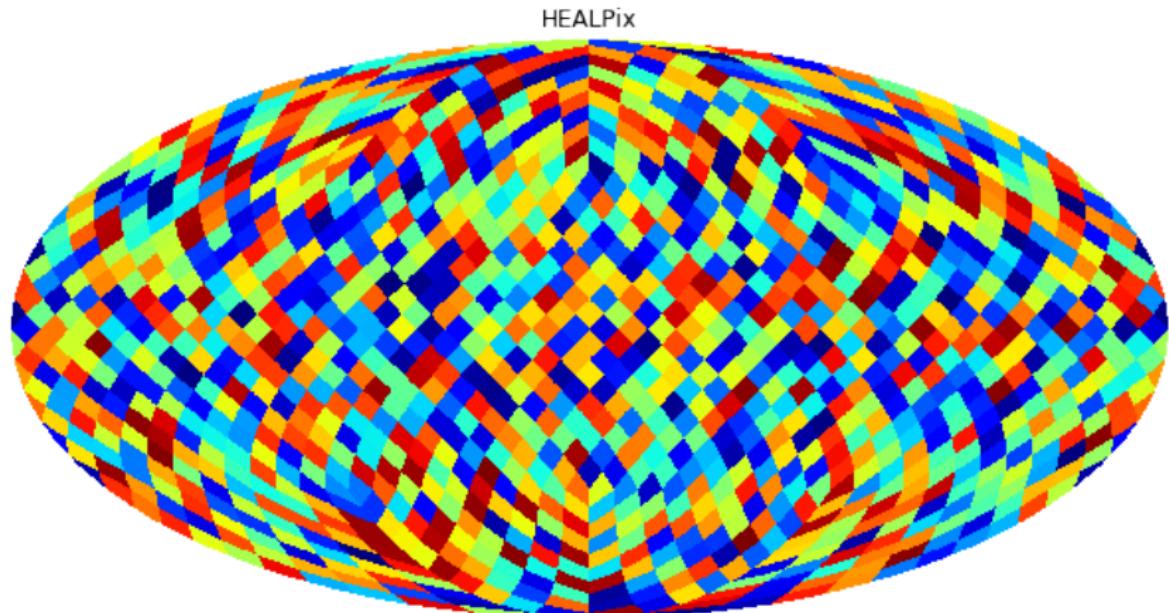


Распределение выбросов модуля разности параллаксов экваториальной СК. Красные (81) - положительные по знаку разности параллаксов, синие (9) - отрицательные.

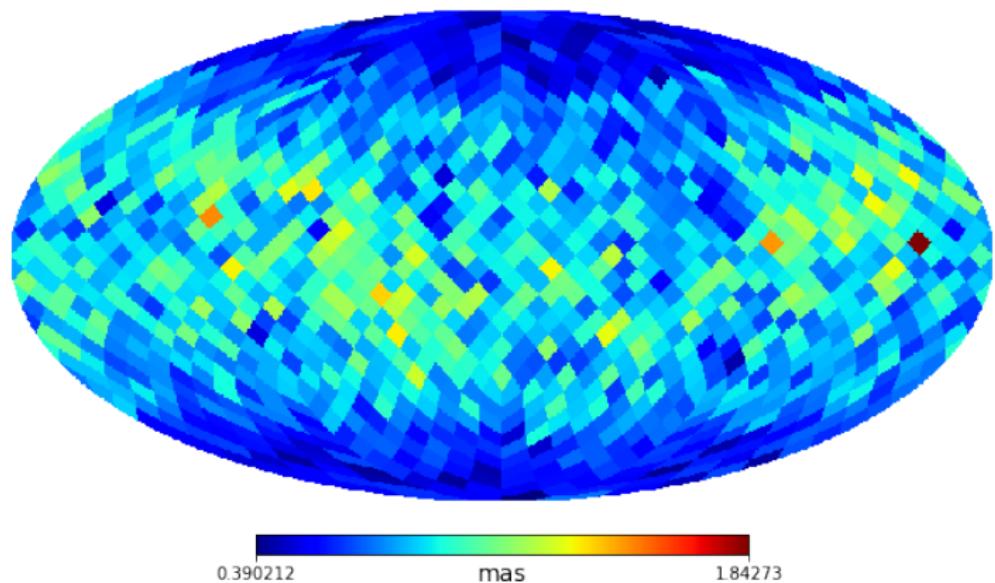
HEALPix разбиение



Пимер деления сферы по часовой начиняя с верхнего левого на
12, 48, 192 и 768 пикселей



Распределение



Распределение среднемедианного модуля разности параллаксов
на небесной сфере в эклиптической СК

$$\Delta_{plx}(l, b) = \sum_{nkp} \beta_{nkp} K_{nkp}(l, b), \quad (2)$$

$$K_{nkp}(l, b) = R_{nk} \begin{cases} P_{n,0}(b), & k = 0, p = 1, \\ P_{n,k}(b) \sin kl, & k \neq 0, p = 0, \\ P_{n,k}(b) \cos kl, & k \neq 0, p = 1, \end{cases} \quad (3)$$

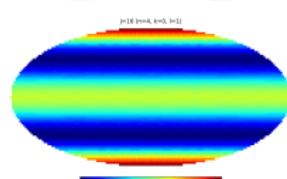
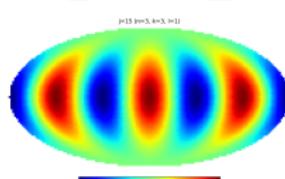
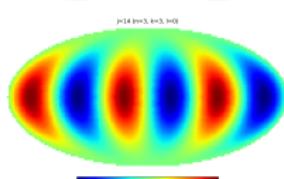
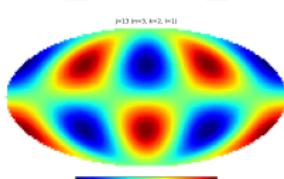
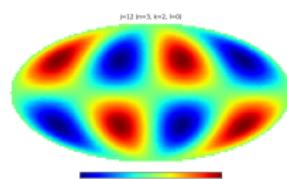
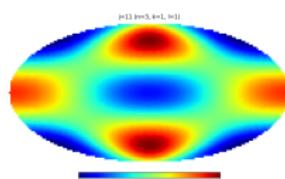
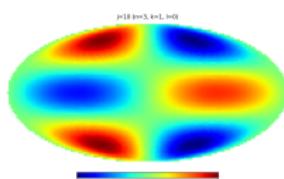
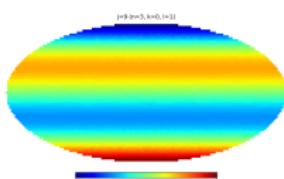
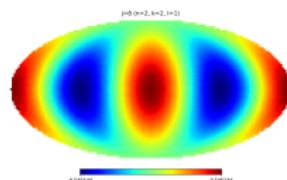
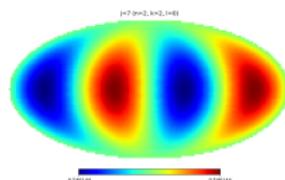
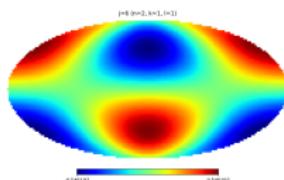
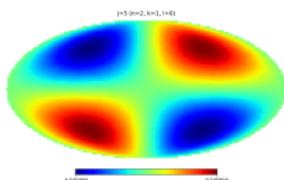
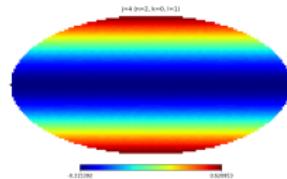
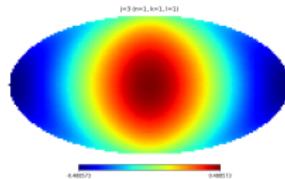
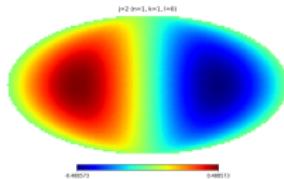
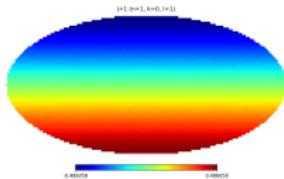
$$R_{nk} = \sqrt{\frac{2n+1}{4\pi}} \begin{cases} \sqrt{\frac{2(n-k)!}{(n+k)!}}, & k > 0, \\ 1, & k = 0, \end{cases} \quad (4)$$

$P_{nk}(b)$ - полиномы Лежандра (при $k = 0$) и присоединенные функции Лежандра (при $k > 0$)

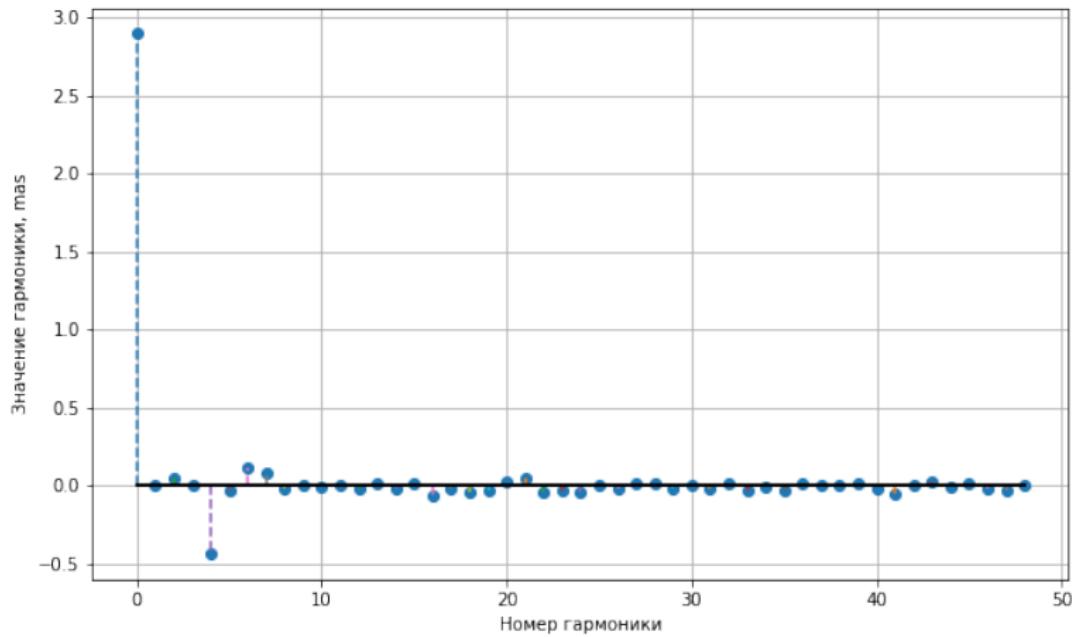
$$\begin{aligned} P_{nk}(b) &= \sin b^{\frac{2n-1}{n-k}} P_{n-1,k}(b) - \frac{n+k-1}{n-k} P_{n-2,k}(b), \underset{n=k+1, k+2, \dots}{\substack{k=0,1,\dots}} \\ P_{kk}(b) &= \frac{(2k)!}{2^k k!} \cos b^k, \\ P_{k+1,k}(b) &= \frac{(2k+2)!}{2^{k+1}(k+1)!} \cos b^k \sin b. \end{aligned} \quad (5)$$

$$j = n^2 + 2k + p - 1. \quad (6)$$

Сферические функции от 1 до 16



Сферические гармоники



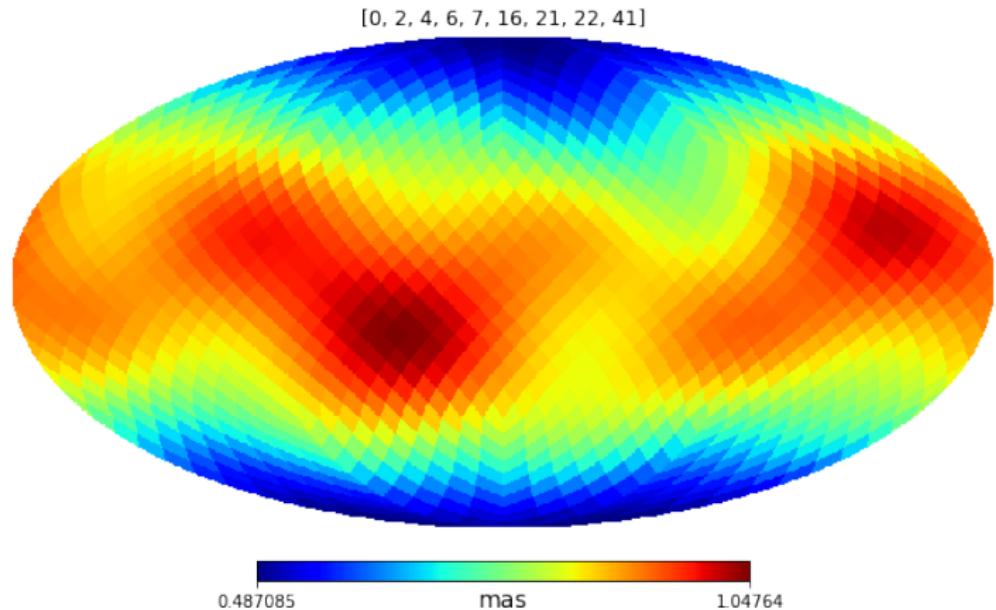
Коэффициенты разложения модуля разности параллаксов по сферическим функциям в эклиптической СК

Сферические гармоники

Статистически значимые коэффициенты разложения модуля разности параллаксов по сферическим функциям в эклиптической СК

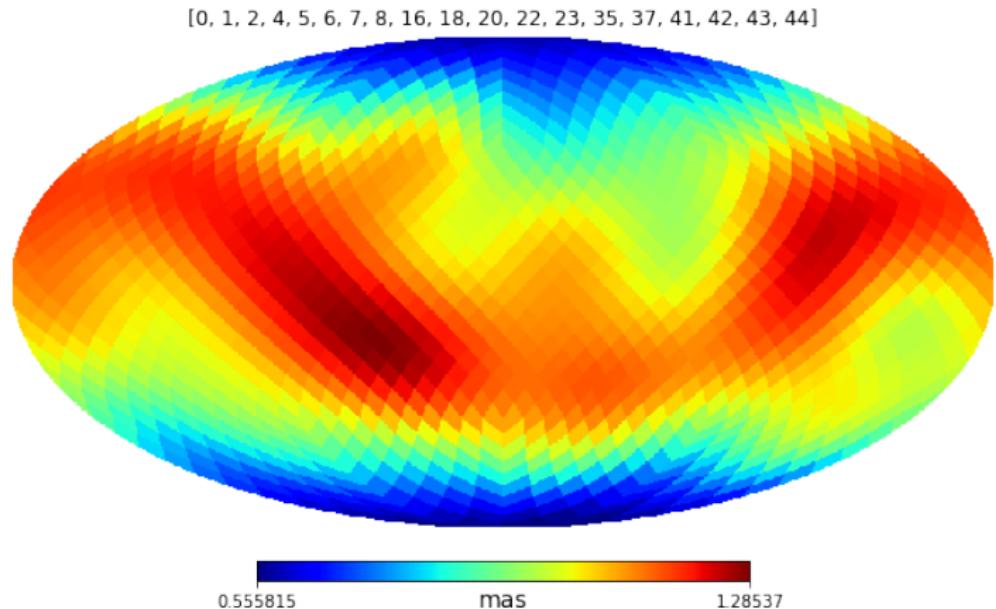
j	β_j	σ
0	2.8978	0.0130
2	0.0497	0.0130
4	-0.4332	0.0130
6	0.1149	0.0130
7	0.0825	0.0130
16	-0.0621	0.0130
21	0.0454	0.0130
22	-0.0402	0.0130
41	-0.0558	0.0130

Сферические гармоники



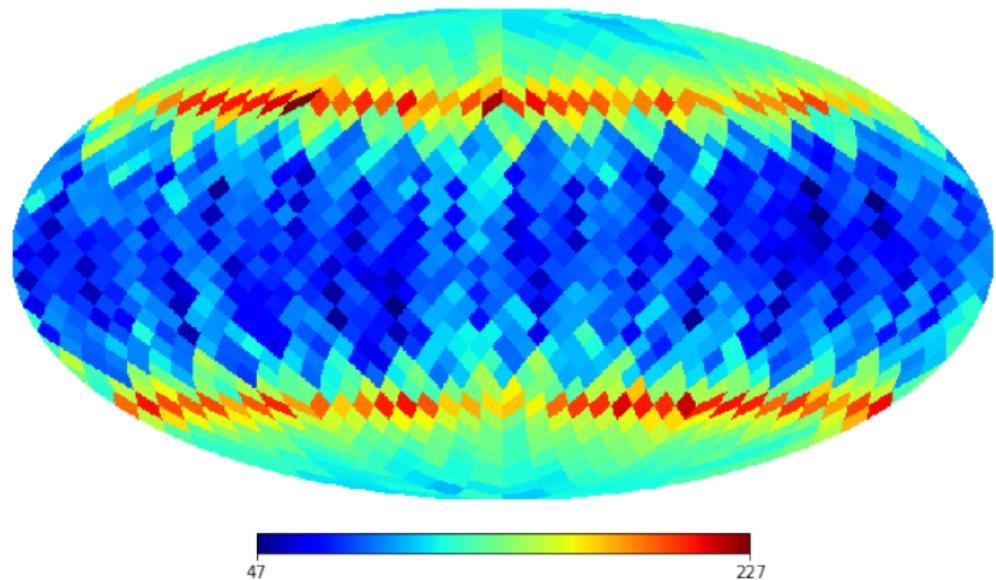
Распределение значимых гармоник модуля разности параллаксов по небесной сфере в эклиптической СК

Сферические гармоники



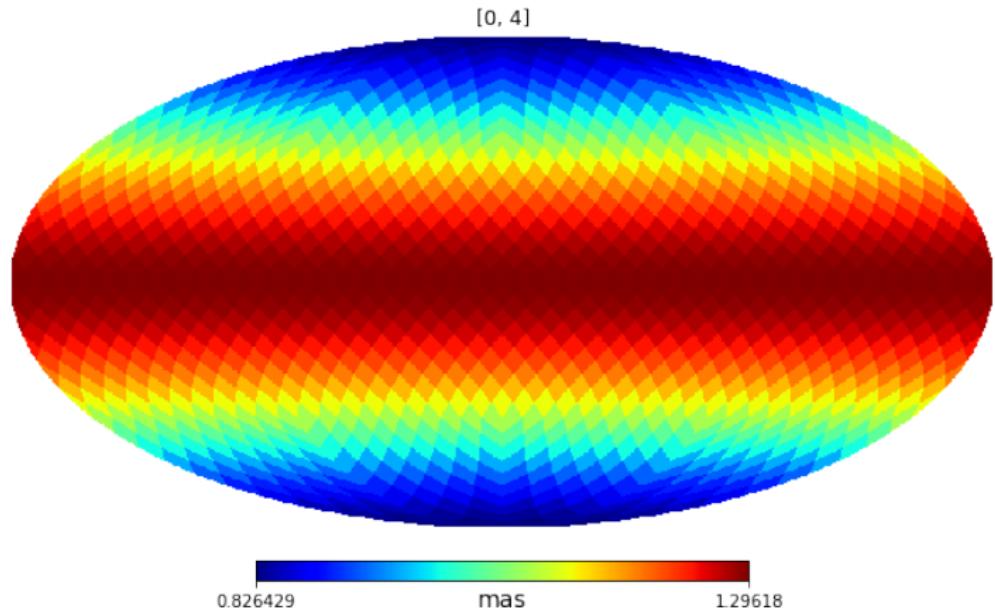
Распределение значимых гармоник ошибки разности параллаксов по небесной сфере в эклиптической СК

Сферические гармоники



Распределение числа наблюдения звезд Hipparcos в
эклиптической СК

Сферические гармоники

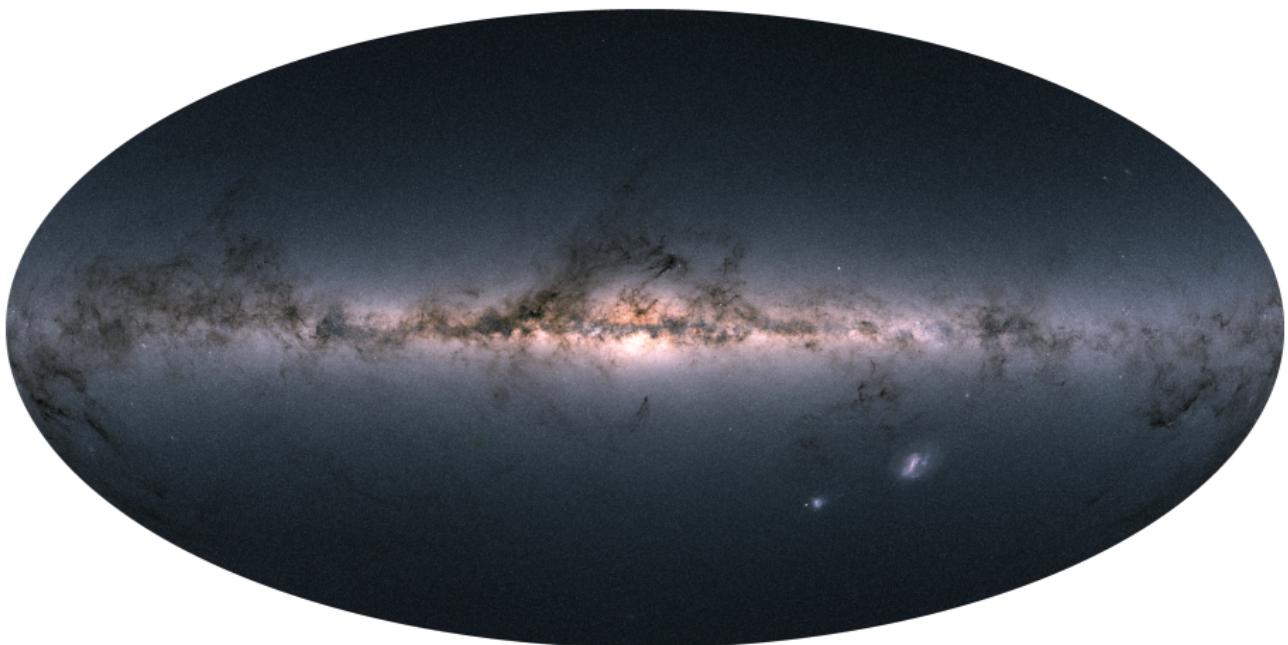


Распределение значимых гармоник среднеквадратичного отклонения разности параллаксов по небесной сфере в эклиптической СК

Заключение

- Звезды по Hipparcos ближе на 6%.
- Выявлены выбросы – «рекордсмены» – звезды с явно разными параллаксами.
- Результаты Hipparcos принимались за абсолютную истину, хотя были факты, указывающие на резкое противоречие с данными наземных наблюдений.
- Выявление сист. ошибок – только сравнение с другими каталогами, полученными независимо.
- Систематически параллаксы сильно не различаются
- Закономерность в распределении модуля отклонения разности параллаксов – закон вращения спутника Hipparcos – в TGAS использовались данные из Hipparcos.

Спасибо за внимание!





Confirmation of Errors in Hipparcos Parallaxes from Hubble Space Telescope Fine Guidance Sensor Astrometry of the Pleiades. December 2007 The Astronomical Journal 129(3):1616
DOI: 10.1086/427860.

Инструменты которыми, пользовались в исследования



Fortran



IP[y]: IPython
Interactive Computing



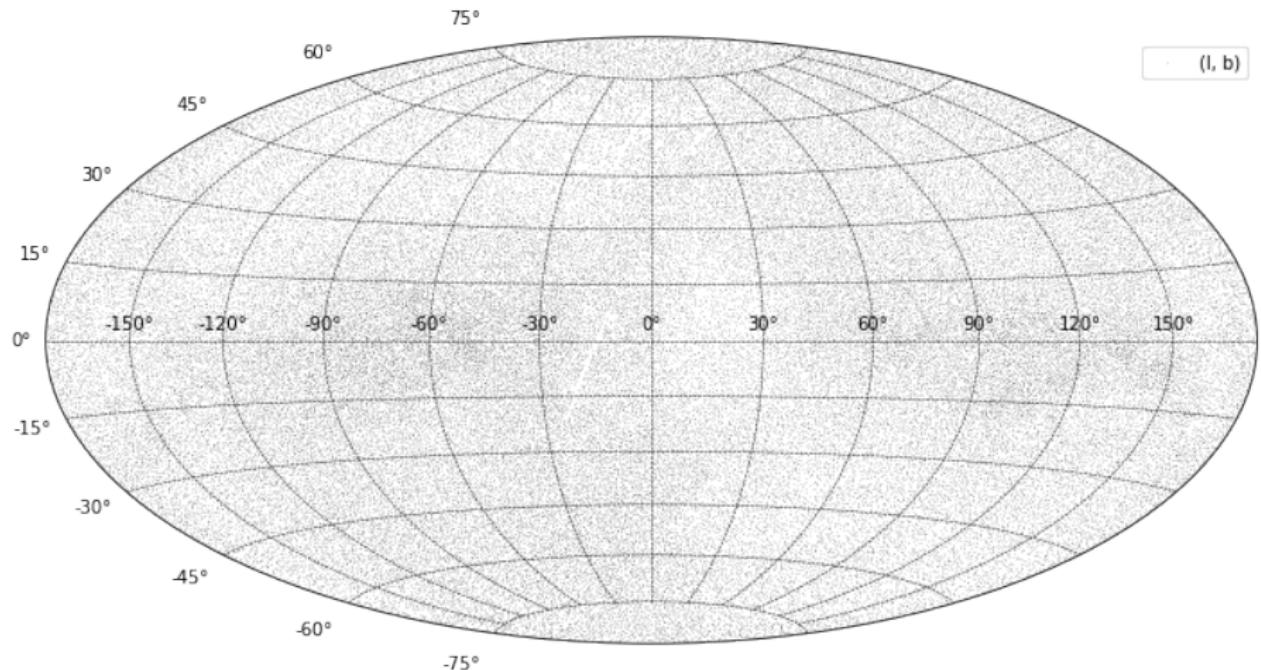
NumPy

pandas
 $y_{it} = \beta' x_{it} + \mu_i + \epsilon_{it}$

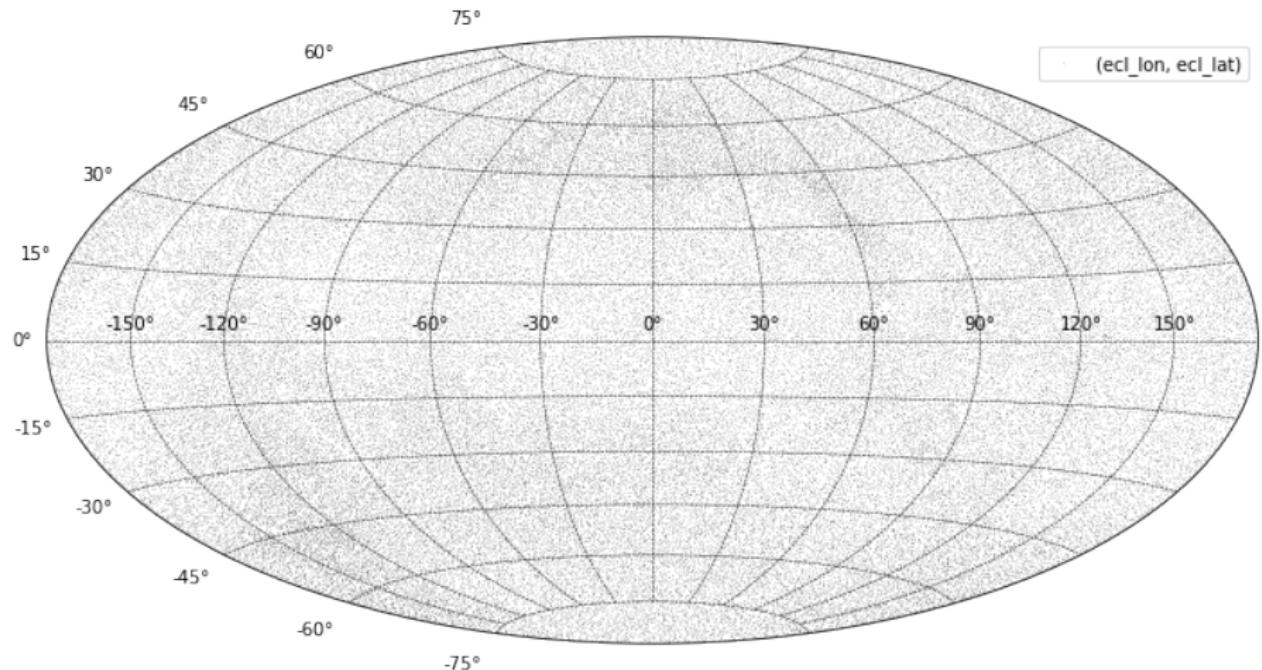
SciPy

LATEX

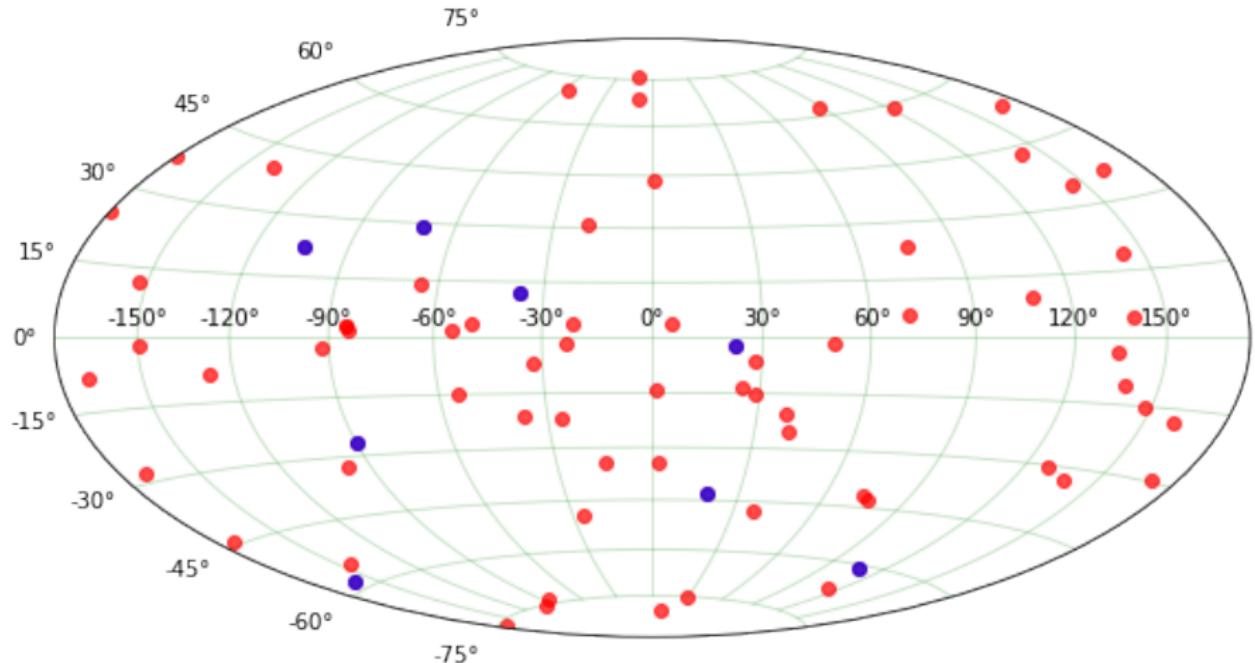
matplotlib



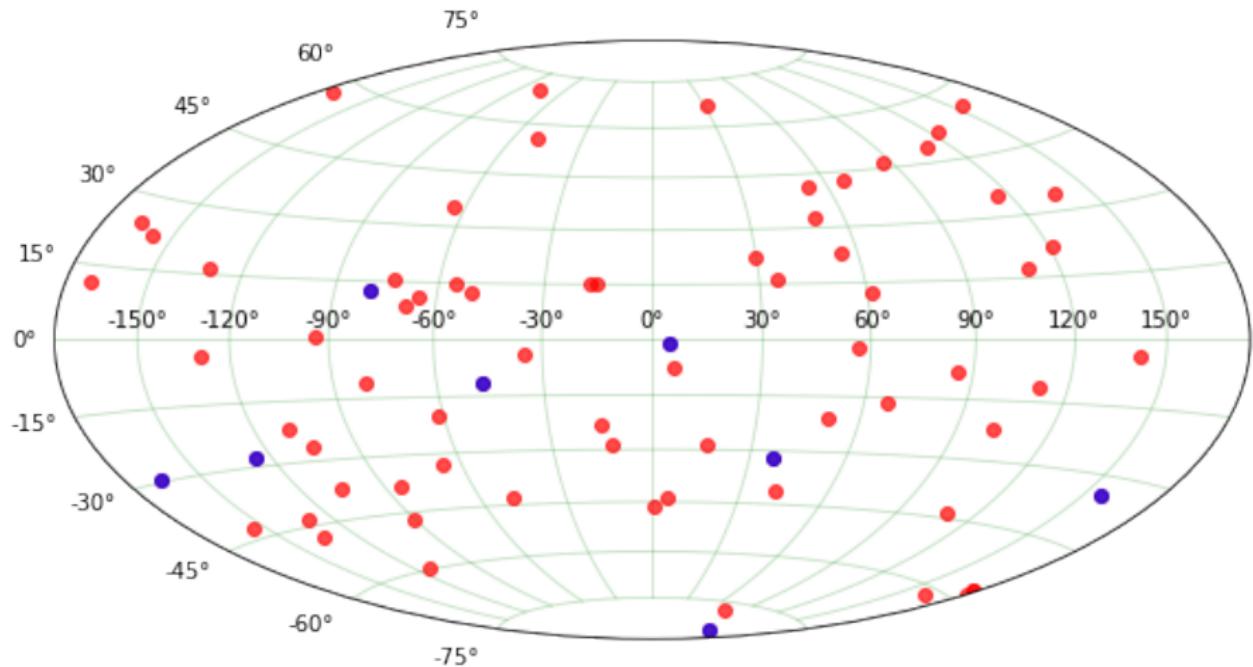
Распределение в галактической СК



Распределение в эклиптической СК

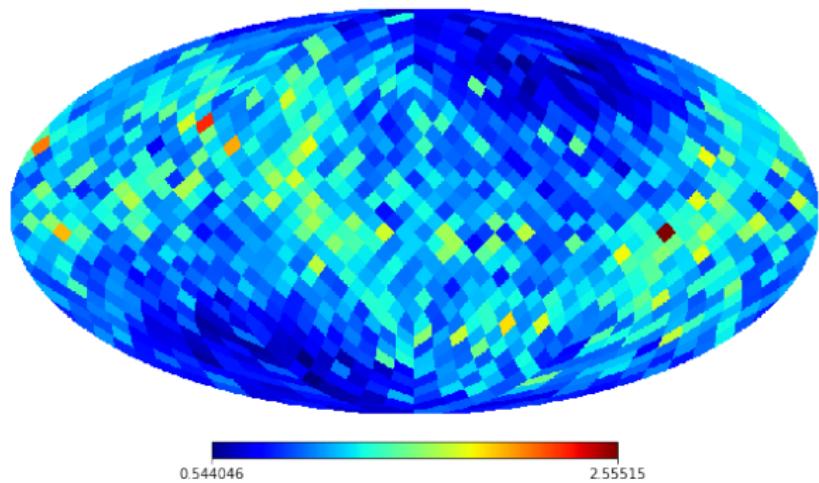


Распределение рекордсменов в галактической СК Красные -
положительные, синие - отрицательные.



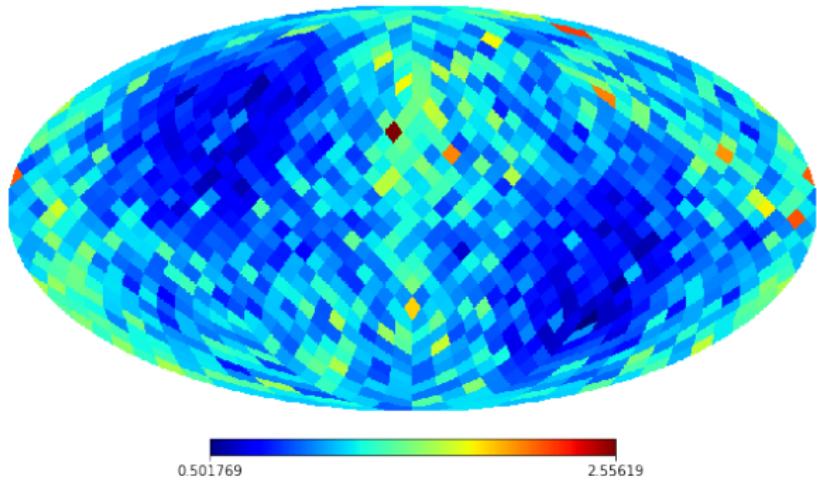
Распределение рекордсменов в эклиптической СК Красные -
положительные, синие - отрицательные.

Распределени



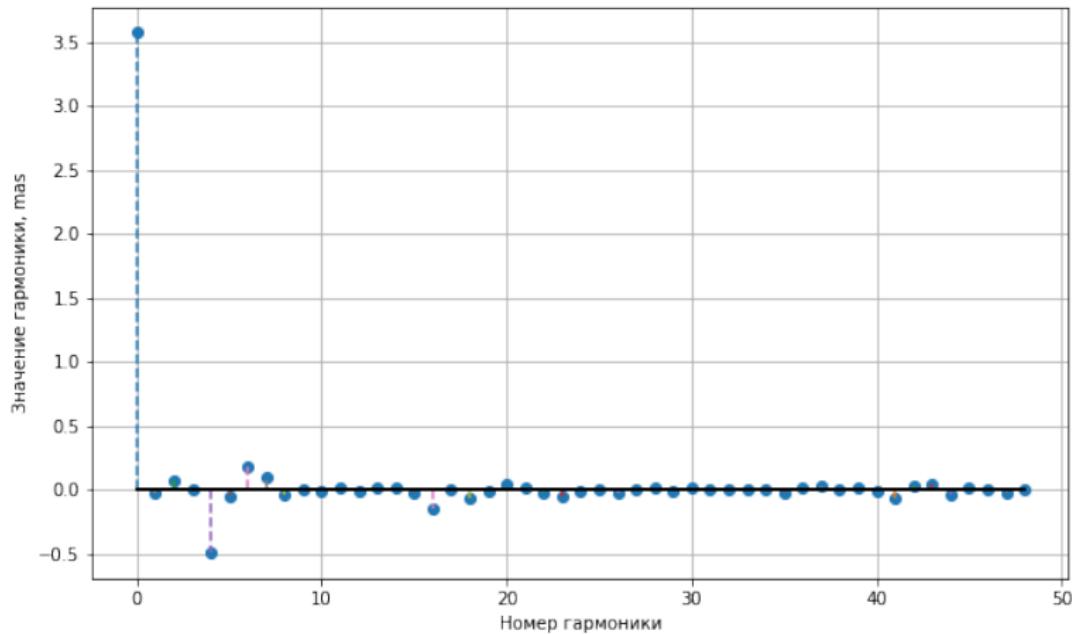
Распределение модуля параллаксов в экваториальной СК

Распределение



Распределение модуля параллаксов в галактической СК

Сферические гармоники



Коэффициенты разложения ошибки разности параллаксов на сферические функции по небесной сфере в эклиптической СК

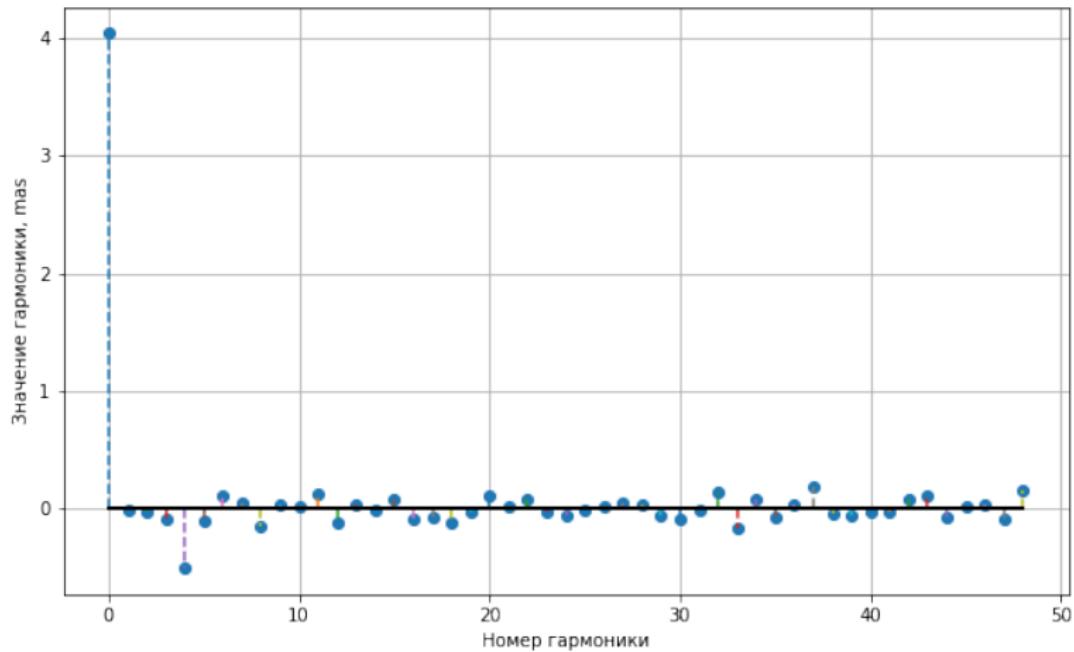
Статистически значимые коэффициенты разложения ошибки
разности параллаксов по сферическим функциям в
эклиптической СК

j	β_j	σ
0	3.5745	0.0079
1	-0.0313	0.0079
2	0.0656	0.0079
4	-0.4918	0.0079
5	-0.0599	0.0079
6	0.1862	0.0079
7	0.0918	0.0079
8	-0.0377	0.0079
16	-0.1522	0.0079
18	-0.0673	0.0079

Статистически значимые коэффициенты разложения ошибки
разности параллаксов по сферическим функциям в
эклиптической СК

j	β_j	σ
20	0.0476	0.0079
22	-0.0266	0.0079
23	-0.0557	0.0079
35	-0.026	0.0079
37	0.0257	0.0079
41	-0.071	0.0079
42	0.0294	0.0079
43	0.0424	0.0079
44	-0.033	0.0079

Сферические гармоники



Коэффициенты разложения среднеквадратичного отклонения
разности параллаксов на сферические функции в эклиптической

Сферические гармоники

Статистически значимые коэффициенты разложения среднеквадратичного отклонения разности параллаксов по сферическим функциям в эклиптической СК

j	β_j	σ
0	4.036	0.0692
4	-0.4998	0.0692