

Постановка задачи

* Высокая формальная точность Hipparcos и TGAS. Что вызывает дополнительное внимание к этим каталогам.

* Существуют указания, на систематические ошибки параллаксов Hipparcos, притом значительные (сравнение с данными Hubble, \cite{book:hubble})

* Кроме того, сравнение параллаксов, является стандартной астрометрической задачей, как сравнение координат и собственных движений. Впервые появилась возможность сравнить параллаксы для столь большого числа звезд (ранее только координаты и с.д.).

Актуальность.

Первый релиз миссия Gaia (TGAS) был в 2016 году, второй релиз -- совсем не давно -- в апреле. Понятно, что это самые свежие данные.

3

* Каталог Hipparcos содержит почти 120 тысяч объекта

* Подкаталог TGAS – Астрометрическое решение для звезд наблюдаемых Gaia и отождествленных с каталогами Tycho-2 и Hipparcos. С Tycho-2 было отождествлено почти 2 миллиона звезд, с Hipparcos 93 тысячи.

* Благодаря тому, что в TGAS есть идентификаторы звезд из Hipparcos, мы можем составить каталог из пересечения hip и tgas.

Будем называть его Объединённым каталогом, т.к. в нем будут поля из обоих каталогов.

Пригодных для анализа 90 283 объекта, у них параллаксы больше 0.

* Разность параллаксов и их ошибки будем считать по формулам 1. Стоит заметить. Что мы вычитаем из параллаксов Hipparcos параллаксы TGAS.

4

Визуализируем распределение звезд нашего объединённого каталога. Распределение в экваториальной СК. Какие либо сгущения не наблюдаются, распределение равномерно. В других системах координат аналогичная картина.

5

Далее, рассмотрим гистограммы для разности параллаксов и её же, взятой по модулю. На левой гистограмме замечен сдвиг в положительную сторону.

6

Посчитали общие статистики по нашему объединённому каталогу.

Стоит обратить внимание, на медиану разностей параллаксов, она чуть нуля. Так же максимальное значение разностей параллаксов равно 90. учитывая что 75 перцентиль отличается, чуть ли не на два порядка, можем предположить, что есть какие-то интересные выбросы. Визуализируем несколько распределений по небесной сфере.

7

Для визуализации воспользуемся проекцией Хаммер-Айтофа или Хаммера (в зависимости от источника) – является равновеликой проекцией, т. к. в ней сохраняются площади. На рисунке приведён пример проекции с эллипсами равных площадей. Эта проекция была принята в качестве основной в описании проекта Hipparcos.

8

Визуализируем распределение по небесной сфере объекты, для которых модуль разности параллаксов больше 3 их ошибок – 1954

9

Аналогичным образом визуализируем объекты, для которых модуль разности параллаксов больше 3 среднеквадратических отклонений – 873

10

Визуализируем звезды, модуль разности параллаксов которых больше 99.9 перцентиль. На гистограмме интересно отметить, что имеется несколько разностей параллаксов в районе 90, 60, 50.

11

Так же визуализируем их на сферу. Тут так же сильных, сгущений не наблюдается

12.

Перейдём к поиску систематических различий.

Для работы со сферическими функциями, нам потребуется разбить сферу на равные по площади. Для этой цели мы воспользуемся разбиением HEALPix, которое обладает следующими свойствами.

* 12 базовых пикселей, дальнейшее деление производится с помощью деления базовых пикселей.

* Площади пикселей при заданном разрешении идентичны

* Пиксели распределены по линиям постоянной широты

На рисунке пример деления сферы на 12, 48, 192, 768 пикселей.

13

Пример проекции сферы HEALPix

14

Построим распределение разности параллаксов. На рисунке изображена эклиптическая СК. Замечаем, что есть некоторая закономерность -- у эклиптических полюсов разность параллаксов меньше, чем на экваторе. Воспользуемся сферическими функциями с разложим модуль разности параллаксов на сферические гармоники.

15

формула 2 это есть разложение по сферическим функциям. Формулы 3-6 описывают сферические функции, не будем на них останавливаться.

16

Визуализируем распределение первых 17 сферических функций. θ – константа, её распределение тоже будет константой, для визуализации не интересна.

17

С помощью метода наименьших квадратов, мы получаем коэффициенты разложения – сферические гармоники для эклиптической системы координат. Заметно, что нулевая и четвертая гармоника сильно выделяются на фоне остальных.

18

Выведем статистически значимые коэффициенты разложения.

Заметно, что нулевая гармоника в 6 раз больше четвертой. А четвертая, как минимум в 3 раза больше всех остальных. Видно, что основной вклад вносят именно нулевая и четвертая гармоника. Визуализируем распределение значимых гармоник.

19

Т.к. основной вклад вносят 0 и 4 гармоника, то распределение имеет характерные особенности. А именно значение на эклиптическом экваторе больше, на полюсах меньше. Это нам говорит о том, что если мы возьмём какую-то объект из Hipparcos, то в сравнении с данными τ_{gas} систематический сдвиг параллаксов на эклиптическом экваторе будет больше, чем на полюсах. Подобная зависимость от широты, скорее всего связана с методом наблюдения.

Разложим на сферические функции ошибку разностей параллаксов.

20

Стоит отметить, что у ошибок параллаксов тоже имеются ярко выраженные нулевая и четвертая гармоника. Нулевая в 7 раз больше четвертой, а четвертая в свою очередь в 2.5 раза больше всех остальных.

Мы видим, что у экватора ошибки больше, чем на полюсах. А от чего зависят ошибки? От числа наблюдений. Выведем распределение числа наблюдений звезд аппаратом Hipparcos.

21

Действительно, распределение имеет схожие черты. На экваторе наблюдений было меньше, вблизи полюсов больше. Корреляция числа наблюдений с модулем разности параллаксов равна -0.553, а между ошибкой разности параллаксов -0.445. Что говорит об обратной зависимости. Для большей уверенности разложим среднеквадратичное

отклонение разности параллаксов по сферическим функциям и выведем распределение главных гармоник.

22

Мы видим, что среднеквадратичные отклонения у экваторов больше, чем у полюсов.

23

Заключение.

\item Звезды по Hipparcos ближе на 6% .

\item Систематически параллаксы сильно не различаются

\item мы нашли сильную закономерность в распределении модуля отклонения разности параллаксов а так же среднеквадратичного отклонения, которая показывает, что в районе эклиптических полюсов эти величины меньше, чем у экватора. -- закон вращения спутника Hipparcos, чем больше было наблюдений тем меньше разность параллаксов и тем меньше среднеквадратичное отклонение -- что заставляет задуматься над тем, что в TGAS использовались данные из Hipparcos.

\item Результаты Hipparcos принимались за абсолютную истину, хотя были факты, указывающие на резкое противоречие с данными наземных наблюдений -- не стоит так делать.

\item Выявление сист. ошибок -- только сравнение с другими каталогами, полученными независимо.

\item Выявлены «рекордсмены» -- звезды с явно разными параллаксами.