

Санкт-Петербургский Государственный Университет

Математико-механический факультет  
Кафедра Астрономии

А.С. Патшин

Сравнение тригонометрических параллаксов  
звезд TGAS и Hipparcos

Дипломная работа

Научный руководитель:  
доцент А.С. Цветков

---

Рецензент:  
PhD. З.М. Малкин

---

Санкт-Петербург  
2018

Saint-Petersburg State University  
Mathematics and Mechanics Department  
Chair of Astronomy

Anton Patshin

**Comparison of trigonometric parallaxes of TGAS  
and Hipparcos stars**

Graduation Thesis

Scientific supervisor:  
associate professor Alexander Tsvetkov

---

Reviewer:  
PhD. Zinovy Malkin

---

Saint-Petersburg  
2018

# Contents

<b>1 Введение</b>	<b>2</b>
1.1 Общие сведения о GAIA и TGAS . . . . .	2
1.2 Общие сведения о Hipparcos . . . . .	2
1.3 Постановка задачи . . . . .	2
<b>2 Случайные выбросы</b>	<b>2</b>
2.1 Проекция Хаммера . . . . .	2
2.2 Распределение . . . . .	3
<b>3 Систематические различия</b>	<b>3</b>
3.1 Healpix . . . . .	3
3.2 Сферические функции . . . . .	6
<b>4 Заключение</b>	<b>6</b>
<b>5 Список использованной литературы</b>	<b>7</b>

# 1 Введение

(Переписать этот пример под мою работу)

Сравнение каталогов является классической задачей фундаментальной астрометрии, производящей переход от одной системы координат к другой, оценить уровень систематических ошибок. До недавненго времени могло проводиться сравнение лишь положений и собственных движений. Появление первых результатов миссии GAIA, в частности, каталога TGAS, позволило впервые проихвести сравнение тригонометрических параллаксов общих звезд каталогов TGAS и Hipparcos, а именно его второй версии XHIP (XHIP: An extended hipparcos compilation, Anderson, 2012). Каталог TGAS содержит 2057050 звезд с данными о тригонометрических параллаксах, включает в себя только звезды Hipparcos и Tycho-2 и не является в полном смысле независимым продуктом, т.к. использует в качестве первой эпохи данные этих двух каталогов. Для сравнения мы используем общие звезды XHIP и TGAS, которых оказалось 93635, из которых пригодно для анализа 90282.

## 1.1 Общие сведения о GAIA и TGAS

Каталог GAIA

## 1.2 Общие сведения о Hipparcos

Тут мой супер классный диплом

## 1.3 Постановка задачи

Сравнение параллаксов.

Возможно два варианта, что подобные результаты могут быть случайными выбросами или систематическими разностями.

## 1.4 Выборка

Благодаря тому, что у каждой звезды в каталоге TGAS есть идентификатор из каталога Hipparcos (в противном случае из каталога Tycho-2), мы можем объединить данные по этим звездам с данными из каталога Hipparcos. Таким

образом в объединённом каталоге будут данные из каталога XHIP и TGAS. В каталоге XHIP 117955 объектов. В TGAS 2057050. их объединении по звездам – 93635, из которых пригодны для анализа тригонометрических параллаксов 90283.

Перечислим интересующие нас поля из каждого каталога

## 2 Случайные выбросы

### 2.1 Проекция Хаммера

Hammer projection

Переход из сферических координат в координаты на проекции Хаммера

$$x = \frac{2\sqrt{2} \cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2}}{\sqrt{1 + \cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2}}}$$

$$y = \frac{\sqrt{2} \sin \varphi}{\sqrt{1 + \cos \varphi \cos \frac{\lambda}{2}}}$$

Переход из координат проекции хамера в сферические координаты

$$z \equiv \sqrt{1 - \left(\frac{1}{4}x\right)^2 - \left(\frac{1}{2}y\right)^2}$$

$$\lambda = 2 \arctan \frac{zx}{2(2z^2 - 1)}$$

$$\varphi = \arcsin zy$$

### 2.2 Распределение

Тут мой супер классный диплом

## 3 Систематические различия

### 3.1 Healpix

HEALPix – это аббревиатура **H**ierarchical **E**qual **A**rea iso**L**atitude **P**ixelation of a sphere (Иерархическая равная изоляционная площадь пикселей).

Первоначальным мотивом для разработки HEALPix была миссия NASA (<http://map.gsfc.nasa.gov/>) сана по измерению  $<>$ , и в настоящее время действует миссия ESA Planck – созданию полномасштабной карты реликтового излучения (микроволнового анизотропного поля) с угловым разрешением несколько угловых секунд. Основными требованиями при разработке HEALPix, было создание математической структуры, которая поддерживает подходящую дискретизацию функций на сфере при достаточно высоком разрешении и облегчает быстрый и точный статистический и астрофизический анализ массивных наборов данных полного неба.

HEALPix удовлетворяет этим требованиям, поскольку обладает следующими тремя существенными свойствами:

- Сфера иерархически тесселирована в криволинейный четырёхугольник. Проекция с самым низким разрешением состоит из 12 базовых пикселей. Разрешение тесселяции увеличивается за счёт деления каждого пикселя на четыре новых. На следующем рисунке показано (по часовой стрелке от верхнего левого до нижнего левого) разрешение увеличивается на 3 шага от базового уровня (т.е. сфера разделена соответственно на 12, 48, 19 и 768 пикселей).
- Области/Площади всех пикселей при заданном разрешении идентичны.
- Пиксели распределены по линиям постоянной широты. Это свойство необходимо для всех приложений гармонического анализа с участием сферических гармоник. Из-за изоширотного распределения точек выборки скорость вычисления интегралов по отдельным сферическим гармоникам масштабируется как  $N^{1/2}$  с общим количеством пикселей, в отличие от пасштабирования  $N$  для распределений выборки неизото-широты(?) (примерами которой является четырёхгранный сферический куб (<http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe>) используемый для COBE (<http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe>) NASA данные и любое распределение, основанное на симметрии икосаэдра).

Как было предложено в названии, эта пикселизация создаёт сегменты сферической поверхности, в которой каждый пиксель покрывает ту же площадь поверхности, что и любой другой пиксель. На рисунке ниже представлено разбиение сферы пропорционально более высокие разрешения слева на право.

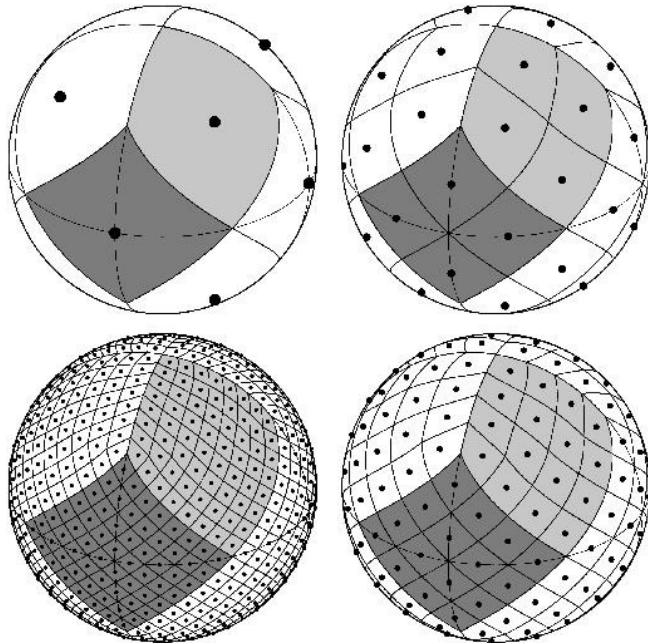


Figure 1: Деление сферы на равные по площади сегменты.

Зеленая сфера представляет собой самое минимальное разрешение, возможное при базовом разбиении поверхности шара HEALPix на 12 пикселей равного размера. Желтая сфера имеет сетку HEALPix 48 пикселей, красная сфера – 192 пикселя, а синяя сфера имеет сетку 768 пикселей (разрешение 7.3 градуса). Как не сложно догадаться, количество пикселей можно посчитать по формуле

$$NSIDE = 12 * n^2, n \in \mathbb{N}$$

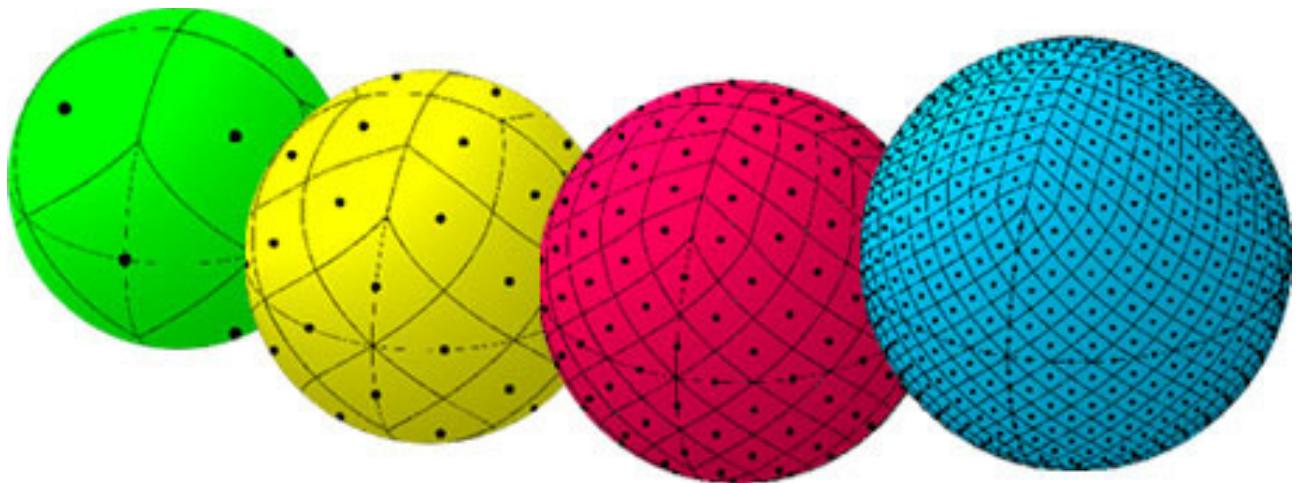


Figure 2: Разбиение HEALPix.

Другим свойством сетки HEALPix является то, что пиксельные центры, представленные черными точками, встречаются на дискретном/конечном(?)

числе колец постоянной широты, количество колец зависит от разрешения сетки HEALPix. Для примера, у зеленой, желтой, красной и синей сферы их 3, 7, 15, 31 кольцо с постоянной широтой соответственно(?).

Ниже приведён пример применения HEALPix с высоким разрешением – Модель реликтового излучения (CMB) (космическое сверхвысокочастотное фоновое излучение), состоящая из 12582912 пикселей ( 3.4 минут дуги (arcmin)).

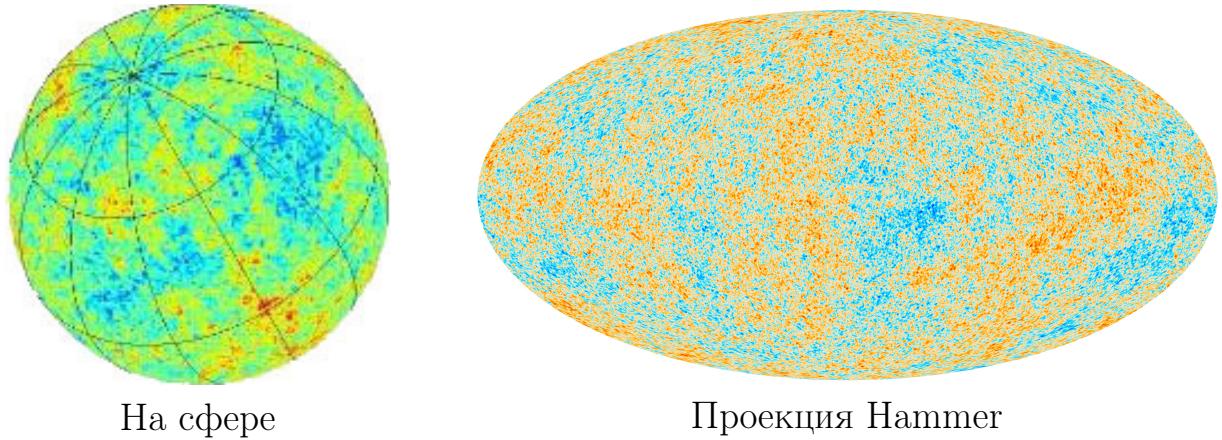


Figure 3: Визуализация СМВ на HEALPix

HealPix имеет два режима резбиения:

- NEST - позволяет работать со сферическими функциями и не только...
- RING - позволяет определять минимальное расстояние до точек и не только...

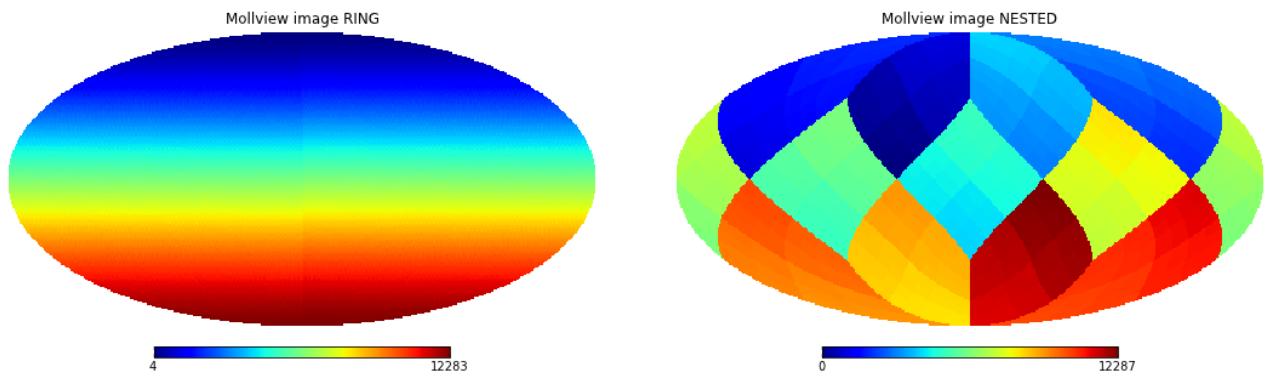


Figure 4: Пример распределения пикселей по ring and nest

Для нашей задачи отлично подходит NEST.

[\[wiki:healpix\]](#)

Представление модуля разницы параллаксов с помощью линейной комбинации сферических функций.

$$\delta_{plx}(l, b) = \sum_{nkp} \delta_{nkp} K_{nkp}(l, b)$$

## 3.2 Сферические функции

Сферические функции – это очень полезный инструмент при анализе небесной сферы [2]

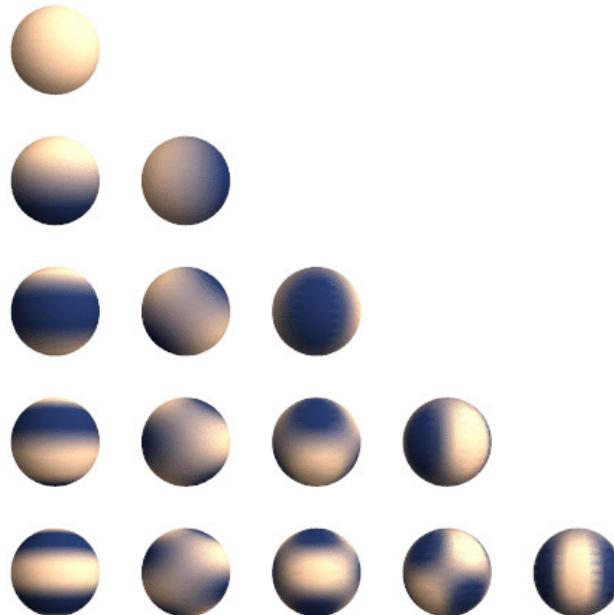


Figure 5: Вещественные сферические функции  $Y_{lm}$ ,  $l = 0\dots 4$  (сверху вниз),  $m = 0\dots 4$  (слева направо). Функции отрицательного порядка  $Y_{l-m}$  повёрнуты вокруг оси Z на  $90/m$  градусов относительно функций положительного порядка.

## 4 Заключение

ну вот и всё [book:fourier]

## 5 Список использованной литературы

### Online only

- [1] sourceforge. *HealPix*. Russian. 2018. URL: <http://healpix.sourceforge.net/>.

### Статьи:

- [2] А.С. Цветков В.В. Витязев. *Кинематический анализ собственных движений звезд с помощью векторных сферических функций*. Russian. Избранные главы высшей математики для инженеров и студентов вузов. Задачи и упражнения. Санкт-Петербургский Государственный университет, 2012. CiberLenin: <https://cyberleninka.ru/article/n/kinematiceskie-issledovaniya-sobstvennyh-dvizheniy-zvezd-zonnyh-katalogov>. URL: <http://www.astro.spbu.ru/sites/default/files/zones.pdf>.

### Приложение

тутappenдикс или два