

Звездный состав каталога Tycho-II

А.В.Попов, А.С.Цветков

24 мая 2006 г.

1 Введение

Tycho-2 – опорный астрометрический каталог, содержащий положения, собственные движения и фотометрию в двух полосах (B и V) для 2.5 миллионов ярчайших звезд небесной сферы. При этом полнота выборки достигается на уровне 90% для 11.5 звездной величины в полосе V [4], [5].

Таблица 1: Сравнительные характеристики каталогов Hipparcos, Tycho, Tycho-2.

| Каталог | Hipparcos | Tycho | Tycho-2 |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Число звезд | 118 218 | 1 058 332 | 2 539 913 |
| Предельная звездная величина | 12.4 ^m | 11.5 ^m | 13 ^m |
| Полнота | 7.3 ^m - 9 ^m | 10.5 ^m | 11.0 ^m -11.5 ^m |
| Средние точности: | | | |
| положений, mas | < 1 | 7 - 25 | 7 - 60 |
| собственных движений, mas/год | < 1 | | 2.5 |
| параллакс, mas | ≈ 1 | - | - |
| фотометрии, mag | ≈ 0.002 | 0.06-0.10 | 0.10-0.013 |

Каталог Tycho-2 является компиляцией тех же данных, что использовались при составлении каталога Tycho, полученных на космическом телескопе Hipparcos, но в большем объеме [6]. При этом использовались более развитые и точные методы редукции, давшие лучшую точность. Прежде всего это касалось слабых звезд. Яркие звезды из каталога были исключены. Главная особенность каталога – наличие точных собственных движений, определенных для 90-95% звезд каталога. В отличие от каталога Hipparcos, для которого вычисления собственных движений проводились для разности эпох, соответствующей периоду космических наблюдений (порядка 3-х лет), при вычислении собственных движений звезд каталога Tycho-2 использовали каталоги, полученных из наземных наблюдений, что дало значительно большую разность эпох. В качестве первой эпохи в основном использовался Astrographic Catalog (1905 год). Последняя эпоха – наблюдения на спутнике Hipparcos – 1991.25. В дополнение к Astrographic Catalog использовались

еще 143 наземных каталога. Как следствие, Tycho-2 имеет среднюю точность собственных движений (по заявлению авторов [7]) ± 2.5 mas/год, что существенно лучше предыдущих наземных каталогов, например FK5 [2].

Сам каталог Tycho-2 [4] и основные статьи авторов [5], [6], [7] вышли в конце 1999 – в начале 2000 года. В основную группу разработчиков входят E. Hog, C. Fabricius, V.V. Markov, U. Bastian, P. Schwekendiek, A. Wicenec, S. Urban, T. Corbin, и G. Wysoff.

В таблице 1 приведены основные характеристики каталога Tycho-2 в сравнении с каталогами Hipparcos и Tycho [3]. Основные отличия каталогов заключаются в объемах, точностях средних собственных движений и положений. К сожалению Tycho-2, также как и Tycho не содержит параллаксов, что является шагом назад по сравнению с каталогом Hipparcos.

2 Общие статистические данные

Рассмотрим статистические характеристики каталога Tycho-2.

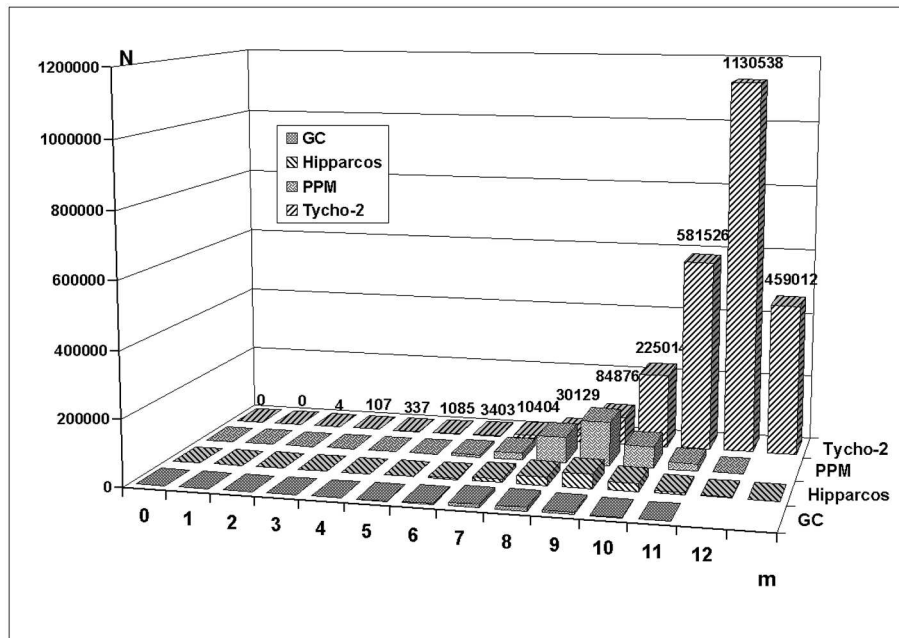


Рис. 1: Распределения звезд каталогов GC, PPM, Hipparcos и Tycho-2 по видимой звездной величине

На рис. 1 представлено распределение звезд каталога Tycho-2 по видимой звездной величине. Для сравнения приведены аналогичные данные для каталогов GC [8], PPM [1] и Hipparcos.

Наибольшая часть звезд (почти половина) – это звезды 11^m . По утверждению авторов каталога полнота выборки достигается на звездах до 11^m на уровне 98% и на звездах до 11.5^m величины – 90%. Самая слабая звезда имеет величину 15.37^m . Самая яркая звезда 1.83^m . Напомним, что яркие звезды были намеренно исключены из каталога (все они присутствуют в каталоге Hipparcos). 95% звезд каталога имеют видимую звездную величину слабее 9^m . Таким образом, Tucho-2 – каталог слабых звезд. Для сравнения скажем, что в каталоге Hipparcos максимум приходится на 8-ю звездную величину. Очевидно, что каталог Tucho-2 содержит значительно больше далеких звезд, чем каталог Hipparcos.

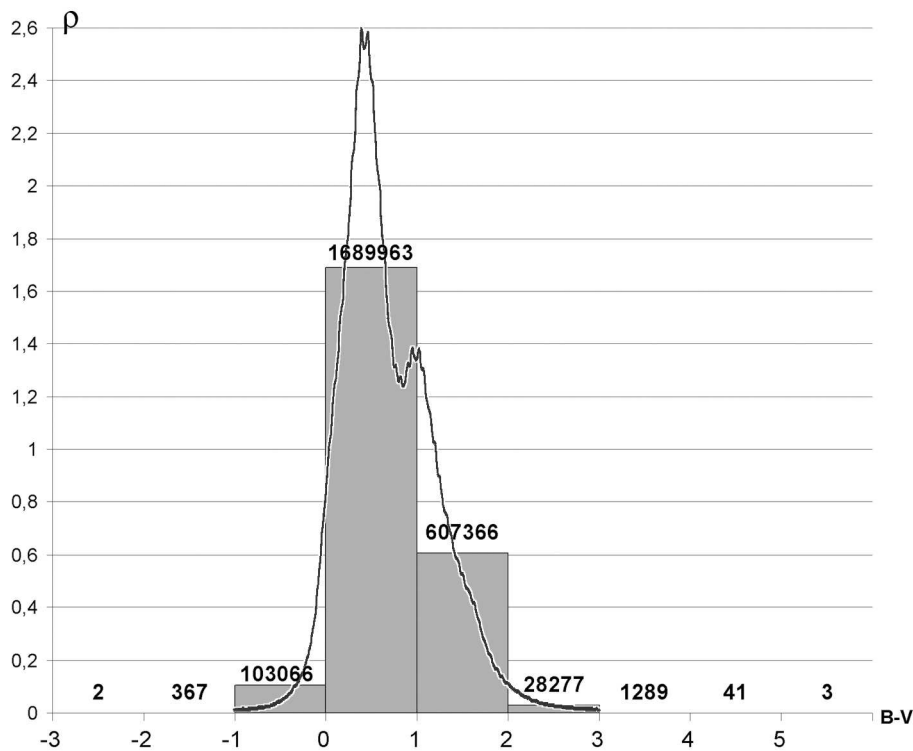


Рис. 2: Распределения звезд каталога Tucho-2 по показателю цвета $B - V$

Рис. 2 демонстрирует распределение звезд каталога Tucho-2 по показателю цвета $B - V$. Следует заметить, что в левой части (в голубой области) наблюдается резкий завал, в то время как в правой – плавный, продолжительный спад. Видимо, одна из причин – межзвездное поглощение, приводящее к покраснению. Об этом свидетельствует наличие очень красных звезд с показателем цвета $B - V > 1.5$. Самая голубая звезда имеет показатель цвета $B - V = -2.05$, самая красная $B - V = 5.54$. На рисунке совмещены столбчатая диаграмма и функция распределения (дифференциальная

плотность).

Функция распределения звезд (дифференциальная плотность) каталога Tucho-2 несимметрична относительно нуля и имеет 2 максимума. Первый, наибольший при $B-V(0.45, 0.46)$, второй, при $B-V(0.99, 1.0)$. Мы считаем, что эти два максимума соответствуют двум основным веткам на диаграмме Герцшпрунга-Рессела. Главный максимум – это, в основном, звезды главной последовательности, спектральных классов А и F, а второй это красные гиганты.

Еще одна особенность каталога – это наличие звезд с большим по модулю, отрицательным показателем цвета. Мы выделили все звезды с $B-V < -0.5$. Получилась выборка объемом в 5554 звезды (в дальнейшем мы будем использовать 5201, так как для остальных в каталоге не приведены средние положения и/или средние собственные движения). Каталог Hipparcos не содержит звезд с таким показателем цвета. Самая голубая звезда в каталоге Hipparcos имеет показатель цвета -0.41^m .

Согласно диаграмме Герцшпрунга-Рессела звезды с $B-V < 0$ – это либо голубые гиганты, либо белые карлики. 93% голубых звезд с ($B-V < 0$) имеют видимую звездную величину $m > 9^m$. Очевидно, что попавшие в эту выборку голубые гиганты – это далекие звезды. Если считать, что абсолютная звездная величина звезд класса О и В меньше 3, то тогда получается, что голубые гиганты, попавшие в число слабых звезд каталога Tucho-2 удалены, от нас на расстояния от 1 до 10 кпк и далее. Это расстояние больше толщины галактического диска. Согласно современной теории звездной эволюции, голубые гиганты – это молодые звезды, расположенные в галактическом диске. Это хорошо согласуется с тем, что видно на Рис. 4. Таким образом, голубые звезды каталога можно разбить на 2 группы: экваториальные, с галактическими широтами $\pm 10^\circ \div 15^\circ$, и неэкваториальные. Статистически первая группа – это далекие голубые гиганты, вторая – это белые карлики, близкие звезды (до 200 пк). Аналогичные рассуждения можно провести для очень красных звезд, с тем отличием, что звезд поздних спектральных классов, красных карликов, больше чем белых карликов. Кроме того, для красных гигантов не характерна столь сильная концентрация к плоскости галактики, как для голубых.

Для того, чтобы хоть как-то разделить звезды различных спектральных классов (а значит и возрастов) и различной удаленности, мы разделили каталог Tucho-2 на следующие группы:

1. По показателю цвета:
 $< -0.5^m, (-0.5^m, 0.0^m), (0.0^m, 0.7^m), (0.7^m, 1.2^m), > 1.2^m$
2. По видимой звездной величине:
 $< 7^m, (7^m, 9^m), (9^m, 11^m), > 11^m$

В таблице 2 представлено это разделение и для каждой выборки указан ее объем.

Таблица 2: Объемы выборок из каталога Tycho-2

| mag B-V | <-0.5 | (-0.5,0.0) | (0.0, 0.7) | (0.7, 1.2) | >1.2 |
|---------|-------|------------|------------|------------|--------|
| <7 | 0 | 2330 | 5535 | 3614 | 3178 |
| (7, 9) | 0 | 5212 | 53179 | 29325 | 25346 |
| (9, 11) | 0 | 8120 | 393960 | 227052 | 164258 |
| >11 | 5201 | 82028 | 828525 | 382835 | 197578 |

3 Распределение по небесной сфере

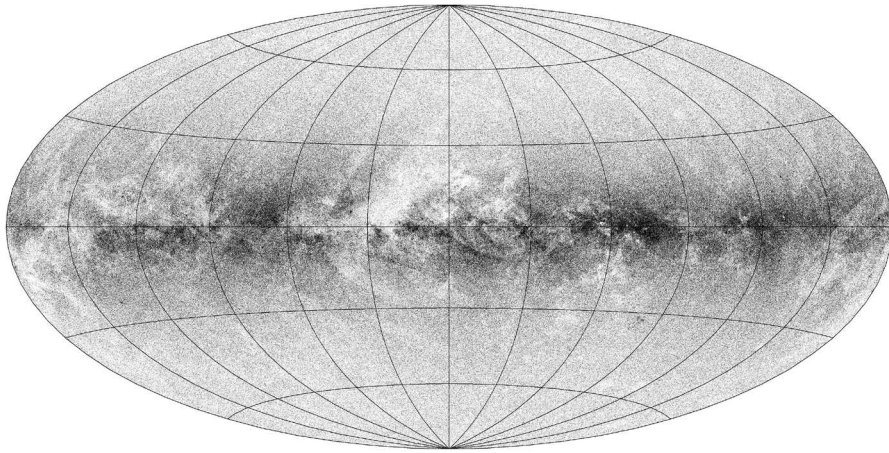


Рис. 3: Распределение звезд каталога Tycho-2 по небесной сфере.

Рассмотрим распределение звезд выборок 2 по небесной сфере в галактической системе координат в равновеликой проекции Айттоффа, которая использовалась авторами каталога Hipparcos [?]. Более темным участкам соответствует большая звездная плотность. На каждую точку проекции подсчитывалось количество звезд, а после проводилась перенормировка для получения приемлемых значений контрастности изображения.

На Рис. 3 представлено распределение всех звезд каталога. Отчетливо видна плоскость галактики. Средняя звездная плотность у полюсов в 6 раз меньше, чем на экваторе. При этом, распределение по галактическому экватору не равномерно, присутствуют ярко выраженные области поглощения, наблюдаются эффекты селекции (четкие, более светлые полосы правильной формы).

На Рис. 4 представлено распределение голубых звезд каталога. Численные оценки показывают, что 68% звезд выборки находятся в полосе широт от $-15^\circ + 15^\circ$. $P_{\text{ЭКВ}}/P_{\text{ПОЛ}} \approx 12$. Наблюдается концентрация к плоскости галактики.

На Рис. 5 представлено распределение голубых звезд с показателем цве-

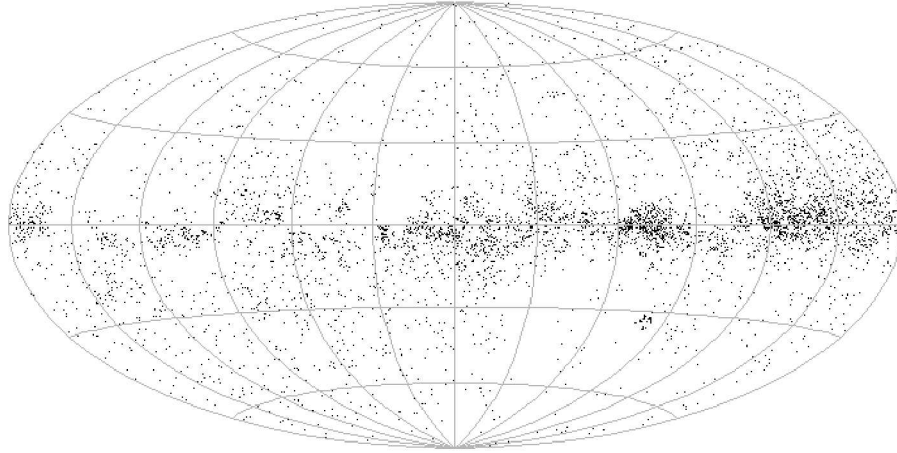


Рис. 4: *Распределение голубых звезд каталога с показателем цвета $B-V < -0.5^m$.*

та $B-V$ от -0.5^m до 0^m . Это звезды спектральных классов O и B, возможно частично A. Всюду наблюдается сильная концентрация к плоскости галактики, что подтверждается численно. Степень концентрации очень высока, плотность звезд в экваториальной зоне ($\pm 15^\circ$) в десятки раз больше плотности у полюсов. Максимальная концентрация наблюдается на выборке с видимой звездной величиной в интервале от 9^m до 11^m : $P_{\text{ЭКВ}}/P_{\text{ПОЛ}} \approx 72$. Для всех выборок верно, что в экваториальной зоне ($\pm 15^\circ$) сосредоточено более 60% звезд.

На Рис. 6 представлено распределение 51% всех звезд каталога Tucho-2. Показатель цвета $B - V$ заключен в пределах от 0^m до 0.7^m , то есть это звезды спектральных классов A-F, частично G главной последовательности. Красные гиганты еще не попадают в эту группу.

Для этой группы выборок концентрация к галактическому диску слабо выражена для звезд с $m < 7^m$ и увеличивается с ростом видимой звездной величины. Для самых слабых звезд концентрация вблизи экватора в 5.5 раз превосходит концентрацию у полюсов. Такая картина говорит о том, что большинство этих звезд расположено на значительных расстояниях, которые в несколько раз превосходят полутолщину галактического диска.

Следует отметить, что для звезд каталога Hipparcos концентрация звезд к плоскости Галактики была характерно только для звезд ранних спектральных классов и выражалась крайне слабо. Для звезд главной последовательности, красных гигантов и звезд поздних спектральных классов концентрация не наблюдалась вообще. Таким образом, можно утверждать, что каталог Tucho-2 значительно расширил область пространства, в котором можно проводить звездно-кинематические исследования.

На Рис. 7 представлено распределение звезд каталога Tucho-2 с пока-

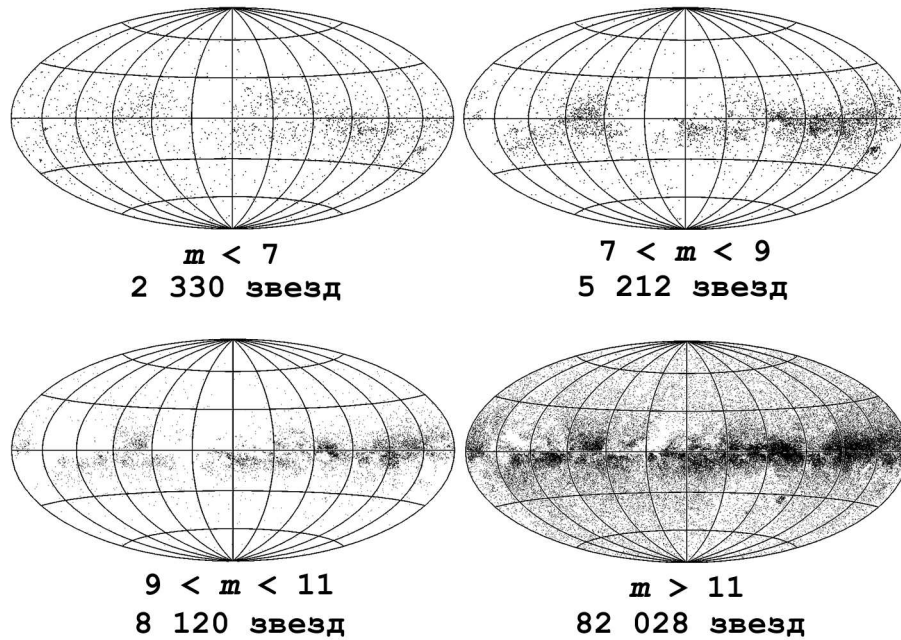


Рис. 5: Распределение по небесной сфере звезд каталога Tycho-2 с показателем цвета $(-0.5^m, 0.0^m)$

зателем цвета от 0.7^m до 1.2^m . Сюда попадают красные гиганты, звезды поздних спектральных классов K и M , частично G .

Как и для предыдущей группы выборок, содержащих звезды главной последовательности, для этих звезд так же характерен эффект концентрации к плоскости галактики по мере увеличения видимой звездной величины.

В последнюю группу выборок (Рис. 8) попали звезды поздних спектральных классов (M) и красные гиганты. Для слабых звезд наблюдается такая же концентрация к плоскости галактики (≈ 5.6), что и для предыдущих выборок. Но характер концентрации отличается. Проекция галактического диска заключена в интервале от -30° до $+30^\circ$. Распределение более равномерное, пятна поглощения существенно меньше. На рисунке с выборкой самых слабых звезд отчетливо видны эффекты селекции – полосы и пятна правильной формы.

Яркие звезды до 7^m (для поздних и средних спектральных классов) распределены достаточно равномерно. В основном это звезды, содержащиеся в каталоге Hipparcos. Аналогичная картина наблюдается для более слабых звезд с видимой звездной величиной от 7^m до 9^m . А для всех выборок звезд с $m > 9^m$ прослеживается сильная концентрация к плоскости галактики. Причем, чем слабее звезды, тем концентрация сильнее. На всех диаграммах для групп слабых звезд ($m > 9^m$) наблюдается также неравномерность рас-

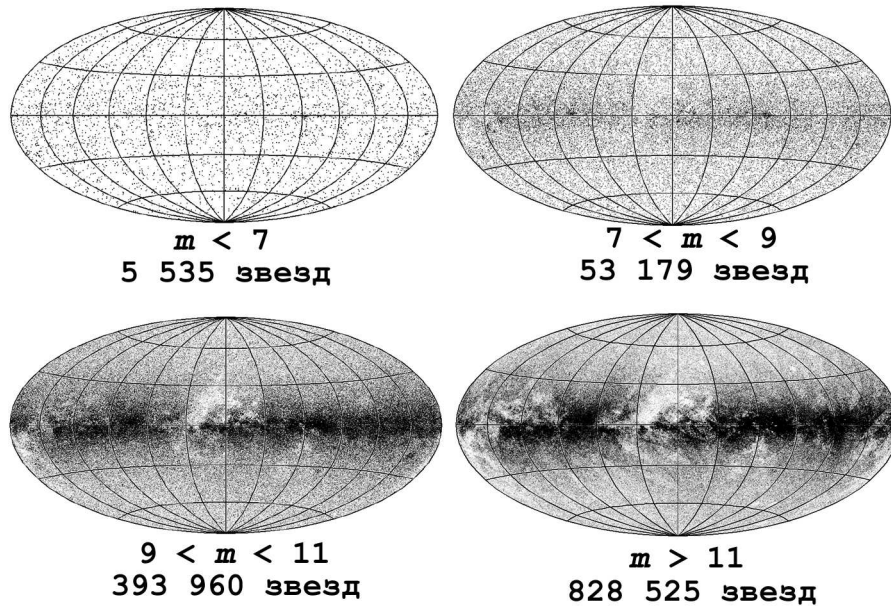


Рис. 6: Распределение по небесной сфере звезд каталога Tycho-2 с показателем цвета ($0.0^m, 0.7^m$)

пределаения вдоль экватора (большие пятна меньшей плотности). На диаграммах для самой слабой группы звезд хорошо видна неполнота выборки связанная с эффектами селекции – полосы правильной формы с четкими границами.

Из всего, выше сказанного, можно резюмировать: яркие звезды – это в основном близкие звезды, представляющие Местную систему звезд. Подтверждением тому служит равномерное распределение их по небесной сфере. Выборки более слабых звезд содержат большое количество удаленных звезд, о чем свидетельствует очень четкое проявления плоскости Галактики. Исходя из того факта, что средняя плотность звезд на галактическом полюсе в 6 раз меньше плотности на экваторе, разумно предположить, что каталог Tycho-2 содержит звезды, находящиеся на расстоянии от Солнца в несколько раз больших полутолщины галактического диска. Об этом же свидетельствует тот факт, что положительный край распределения звезд по $B - V$ очень пологий, в отличие от "завалившегося" отрицательного. Это можно объяснить присутствием в каталоге большого количества звезд, изменивших показатель цвета под воздействием межзвездного поглощения.

4 Заключение

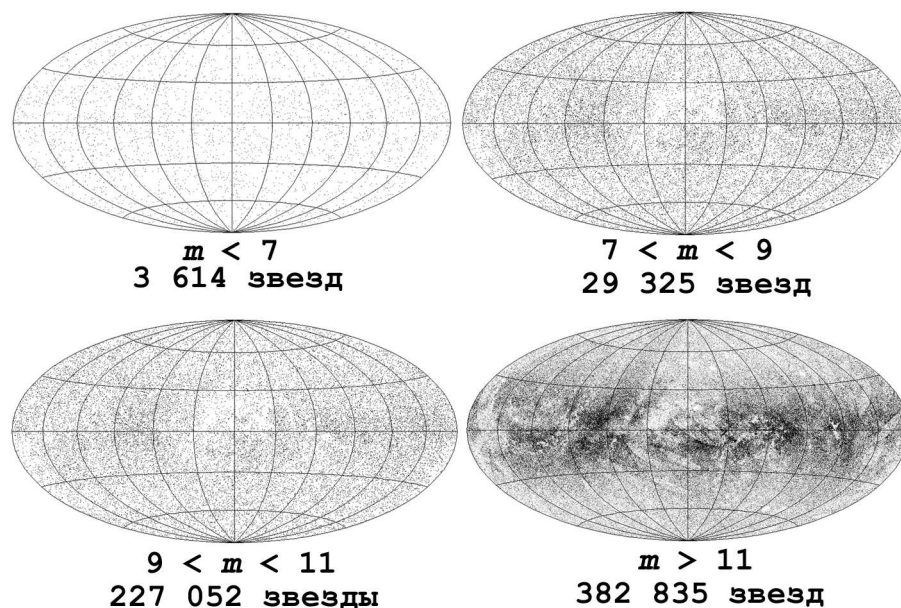


Рис. 7: Распределение по небесной сфере звезд каталога Tycho-2 с показателем цвета ($0.7^m, 1.2^m$)

1. Каталог Tycho-2 является на данный момент самым массовым и самым полным каталогом слабых звезд, собственные движения которых получены с точностью лучших наземных каталогов 2.5 mas/год .
2. Каталог содержит аномально голубые и аномально красные звезды, которые отсутствуют в каталоге Hipparcos и в наземных каталогах (все эти звезды слабее 11^m).
3. Варьируя показатель цвета и видимую собственную величину, возможно статистически разделить звезды различных спектральных классов и различной удаленности, и исследовать их кинематические свойства отдельно друг от друга.
4. Каталог Tycho-2 содержит большое количество звезд, удаленных от Солнца на расстояния, существенно большие чем полутолщина галактического диска.

Список литературы

- [1] *Bastian U., Roser S.* – 1993, PPM Star Catalogue, Vol III-IV, Astronomisches Rechen-Inst., Heidelberg.

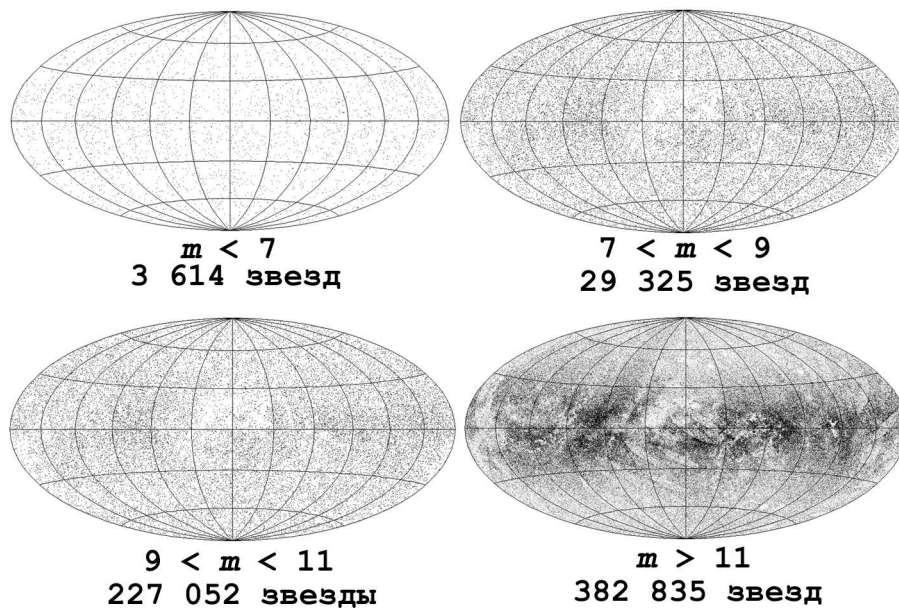


Рис. 8: Распределение по небесной сфере звезд каталога Tycho-2 с показателем цвета $B-V > 1.2^m$

- [2] *Fricke, W.* – Fifth Fundamental Catalogue (FK5). Veroff. Astron. Rechen-Institut, Heidelberg, N 32, 1988.
- [3] *ESA, FAST, NDAC, TDAC, INCA* – The Hipparcos and Tycho Catalogue, 1997.
- [4] *E. Hog, C. Fabricius, V.V. Makarov* – The Tycho2 Catalogue on the CD-ROM, 2000.
- [5] *E. Hog, C. Fabricius, V.V. Makarov, S. Urban, T. Corbin, G. Wycoff, U. Bastian, P. Schwekendiek, and A. Wicenec.* – The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 Million Brightest Stars, 2000.
- [6] *E. Hog, C. Fabricius, V.V. Makarov, S. Urban, T. Corbin, G. Wycoff, U. Bastian, P. Schwekendiek, and A. Wicenec.* – Guide to the Tycho-2 Catalogue.
- [7] *E. Hog, C. Fabricius, V.V. Makarov, S. Urban, T. Corbin, G. Wycoff, U. Bastian, P. Schwekendiek, and A. Wicenec.* – Construction and verification of the Tycho-2 Catalogue, 2000.
- [8] *Boss B.* – General Catalogue of 33342 stars for the epoch 1950.0, Washington, 1937.