



Физические характеристики наблюдаемых визуальных двойных звезд

Ковалева Д.А., Малков О.Ю., Чулков Д.А., Юнгельсон Л.Р. (Институт астрономии РАН)

Двойные звезды составляют значительную часть звездного населения и наблюдаются разными способами с определением разных наборов данных. Абсолютное большинство широких пар при этом наблюдаются как визуальные двойные. Это наиболее представительный наблюдательный тип двойных, включающий свыше 130000 пар. Распределение параметров орбит двойных звезд, а также распределение их физических характеристик содержит информацию, важную для понимания фундаментальных процессов звездообразования. Однако статистические исследования двойных звезд затруднены недостатком и неполнотой наблюдательных данных, с одной стороны, и влиянием значительного количества эффектов наблюдательной селекции, с другой. Создание наиболее полного списка визуальных двойных звезд путем кросс-отождествления объектов и объединения данных трех крупнейших каталогов визуальных двойных и добавление информации о параллаксах, многоцветной фотометрии, спектральных характеристиках звезд списка из других каталогов позволило отчасти преодолеть проблему недостатка наблюдательных данных для этих объектов. Объединенные данные позволяют проверить надежность наблюдательных характеристик, а также рассчитать распределения по некоторым орбитальным и физическим параметрам визуальных двойных. Обсуждается учет неполноты наблюдательных данных. Полученные выборки данных и современные распределения будут использованы для восстановления начальных распределений двойных звезд по параметрам и компонентом функции звездообразования двойных систем.

1. Введение

Двойные звезды весьма многочисленны (от 30% до 90% по оценкам для разных выборок), и история их звездообразования существенно влияет на звездообразование в Галактике в целом. История звездообразования отражена в распределениях по параметрам орбиты и физическим характеристикам, однако эти распределения изменены эффектами эволюции и искажены наблюдательной селекцией. Интерес к статистическим исследованиям двойных и кратных звезд, после знаковых работ 20-х – 30-х годов XX века (Opik 1924; Kuiper 1933; Aitken 1935; Амбарцумян 1937, и др.) возродился в 1970х-1980х гг., и в настоящее время лишь усиливается с совершенствованием техники наблюдений, позволяющей обнаруживать более слабые и близкие, а также далекие компоненты (Abt & Levy 1976, Kraicheva et al. 1985, Vereshchagin et al. 1988, Duquennoy & Mayor 1991, Poveda et al. 1996, 2006, Patience et al. 2002, Kouwenhoven 2008, Rahgavan et al. 2010, Duchene & Kraus 2013, Tokovinin 2014, Tokovinin & Kiyaveva 2016, и др.) При этом можно наблюдать следующие тенденции в исследованиях (как в чистом виде, так и в сочетаниях):

- Рассматривать полные по объему выборки;
- Рассматривать однородные выборки;
- Симулировать наблюдения и сравнивать с данными.

Каждый из подходов имеет свои преимущества и трудности.

В этой работе мы представляем выборки данных, построенные для моделирования с использованием методов популяционного синтеза для решения обратной задачи восстановления исходных параметров двойных звезд.

2. Данные о визуальных двойных звездах

Основной объем данных о визуальных двойных звездах относится к так называемым широким парам. В отличие от тесных двойных, они не изменяют существенным образом своих орбитальных параметров в течение длительного периода своей эволюции, а компоненты не оказывают влияния на физические характеристики друг друга. Это делает широкие пары более простыми объектами для исследования распределений по характеристикам.

Набор данных о визуальных двойных звездах был построен на основе наиболее полного списка визуальных двойных (WCT, полученного путем кросс-матчинга и слияния данных базовых каталогов визуальных двойных звезд Washington Double Star Catalog, WDS; Catalogue of Components of Double and Multiple Stars, CCDM; и Tycho Double Star Catalogue, TDSC). Процедура кросс-матчинга и решение сопутствующих проблем описаны в работе Isaeva, Kovaleva, Malkov (2015).

Современный статус WCT:

- 132000+ пар;
- Данные (ID, $\alpha, \delta, \rho, V_1, V_2, Sp, \mu, \mu_B$) из оригинальных каталогов.
- Добавление данных:
 - 14000+ параллаксов (Hipparcos + Simbad);
 - Дополнительно: спектральная классификация Simbad для 17000+ главных компонентов;
 - Дополнительно: многоцветная фотометрия (UBVRI Simbad, другая McDonald et al. 2012) для 5653 главных компонентов;
 - Дополнительно: высокоточная спектральная классификация для 569 главных компонентов (NStars)
 - Дополнительно: параметры орбиты для 1374 пар (Orb6)

Увеличение объема данных не только предоставляет возможность более тщательного выделения выборки для исследований и определения большего количества характеристик, но и в ряде случаев позволяет осуществлять контроль качества данных.

Для того, чтобы получить выборку данных, пригодную для исследования, WCT был очищен от некоторых искажающих статистику данных: дублирующихся и ошибочных записей в каталогах, округленных значений для малых угловых расстояний между компонентами, предположительно оптических пар (1% фильтр + примечания WDS), пар в кратных системах (за исключением самой яркой), а также (для звезд со спектральной классификацией) пар с проэволюционировавшими компонентами (предположительно взаимодействовавших). Подробнее принципы очистки выборки изложены в работе Kovaleva et al. (2015).

3. Распределение по периодам

Распределение двойных звезд по периодам (или по большим полуосьям орбит) определяется процессом их образования и может помочь в понимании особенностей этого процесса. В основном обсуждаются два варианта распределения – степенное $f(a) \sim a^{-\alpha}$ (в случае $\alpha=1$ это плоское в логарифмической шкале распределение Опики) и гауссово в шкале $\log P$ или $\log a$. При этом, распределение Опики указывает на процесс релаксации энергии во взаимодействиях нескольких тел, предполагая, что, возможно, двойные формируются преимущественно или исключительно в составе кратных систем (Poveda et al. 2006).

Около 47500 пар из нашей очищенной выборки имеют два и более достаточно надежных наблюдений относительного положения компонентов в разные эпохи. Для свыше 8000 из них доступны три и более наблюдения. Это дает возможность оценить среднюю угловую скорость видимого движения по орбите и, таким образом, получить грубую экстраполированную оценку периода. Отметим, что, в отличие от орбитальных двойных, вероятность наблюдения звезды как визуальной двойной заметно связана с величиной периода только для наиболее тесных и наиболее широких пар, в достаточно широком диапазоне периодов оставаясь независимой от значения периода. Оценка угловой скорости видимого движения по орбите возможна для звезд с неизвестным параллаксом и, таким образом, может быть осуществлена для всех 47500 звезд выборки.

Степень самосогласованности такой оценки можно определить, сравнивая значения, определенные для одних и тех же пар по разным точкам там, где это возможно (рис. 1). На рис. 2 представлено распределение разности значений орбитального и оцененного периода для звезд выборки, входящих в каталог орбит Orb6. Оцененный период оказывается систематически больше, в том числе, потому, что при единичных наблюдениях невозможно знать, сколько оборотов прошло между наблюдениями (предполагается, что менее одного). Это накладывает ограничение на применимость методики. На рис.3 представлено кумулятивное распределение по периодам для пар очищенной выборки из WCT. Для сравнения приведено распределение по периодам орбит двойных из каталога Orb6. Прямой изображено приближение данных Orb6 распределением Опики.

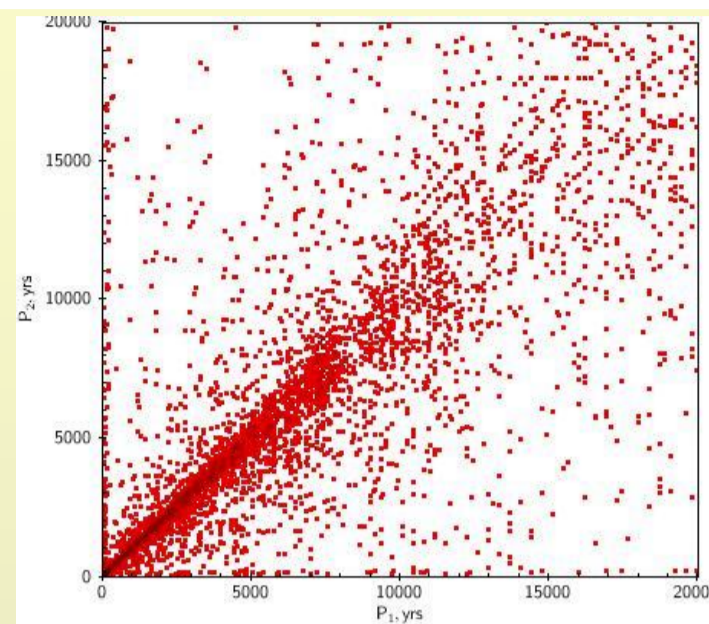


Рис. 1. Оценки периодов по разным комбинациям относительных положений для одной пары..

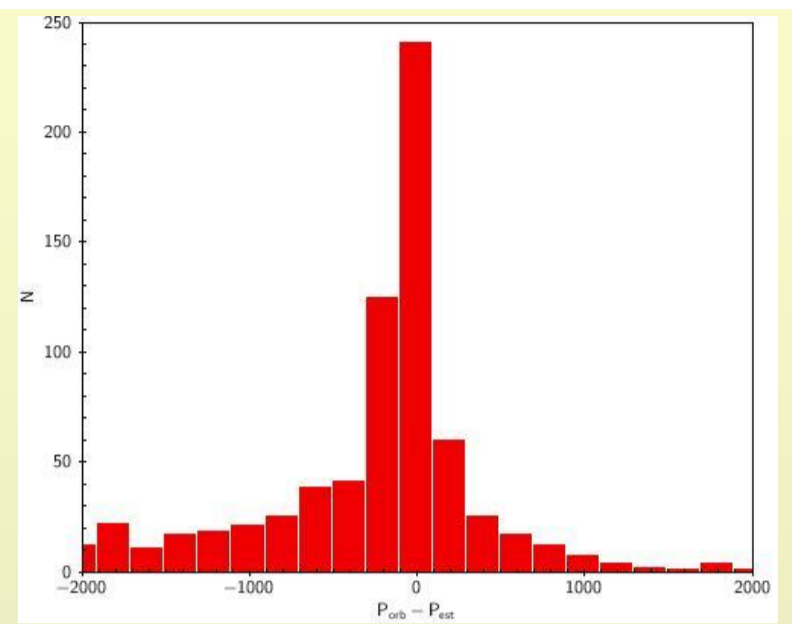


Рис. 2. Разница орбитального и оцененного относительных положений для одной пары..

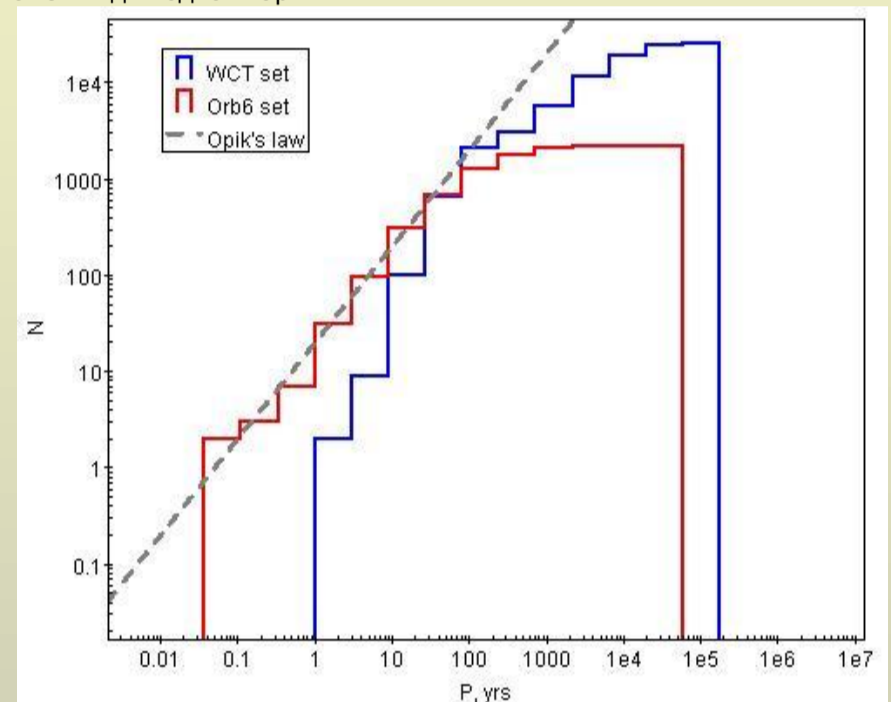


Рис. 3. Кумулятивное распределение по периодам: синее – оценки для 47500 пар WCT, красное – периоды для пар, входящих в каталог орбит Orb6.

4. Исправление спектральной классификации. Определение характеристик компонентов.

Проверка представленной в каталогах WCT двумерной спектральной классификации (Kovaleva et al. 2015) для звезд с известными параллаксами продемонстрировала, что некоторое количество звезд с ошибочно приспанными классами светимости заметно искажает распределения по определяемым характеристикам. В связи с этим для звезд V и III класса светимости, по классификации WCT, был проведен поиск альтернативных классификаторов (Simbad, McDonald et al. 2012, Nstars). Таким образом были обнаружены и исправлены ошибочно приспанные классы светимости для 68 из 1600+ гигантов (III) и 77 из 4000+ карликов (V). Таким образом была создана выборка, содержащая 5731 пару с известным параллаксом и подтвержденным классом светимости, включающая 4049 пар с главным компонентом класса светимости V и 1682 пары с главным компонентом класса светимости III. Из них 5268 обнаружены в каталоге McDonald et al. 2012, где для них определены по многоцветной фотометрии T_{eff}, L_{bol} , избытки цвета. Для оставшихся звезд болометрические поправки определены с помощью UBVRI фотометрии Simbad и калибровок Matajek (2016). На рис. 4 представлено отношение масс компонентов $q=m_2/m_1$ для этих пар. Рисунок иллюстрирует резкое различие эффектов селекции для пар с главными компонентами-гигантами и карликами. Проведено определение областей наблюдательной неполноты в пространстве параметров $(V_1, \Delta V, \rho)$, как описано в Kovaleva et al. (2015). После исправления выборки за наблюдательную неполноту оставшиеся 900 пар демонстрируют намного более сходное поведение распределения по отношению масс компонентов в области пересечения для звезд с главными компонентами классов светимости III и V (рис. 5).

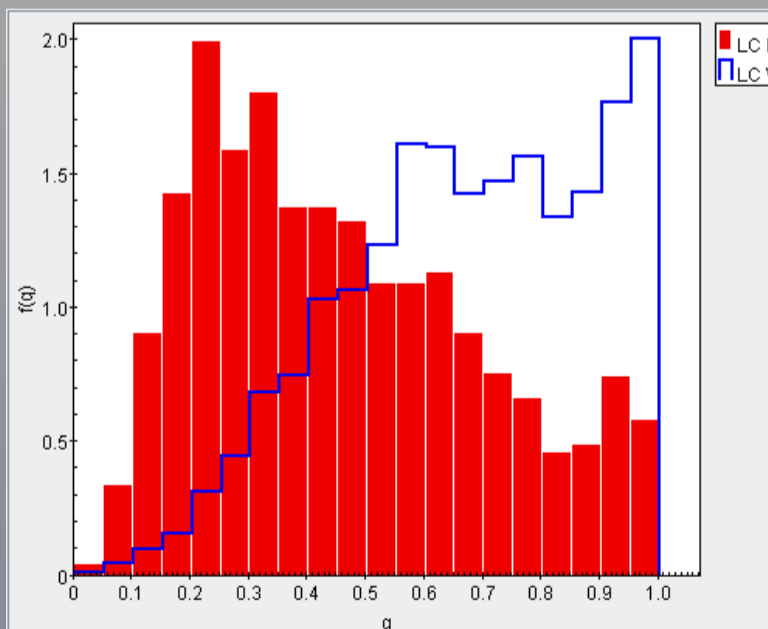


Рис. 4. $f(q)$ для пар с главными компонентами классов светимости III и V до исправления выборки за наблюдательную неполноту. 5700 пар.

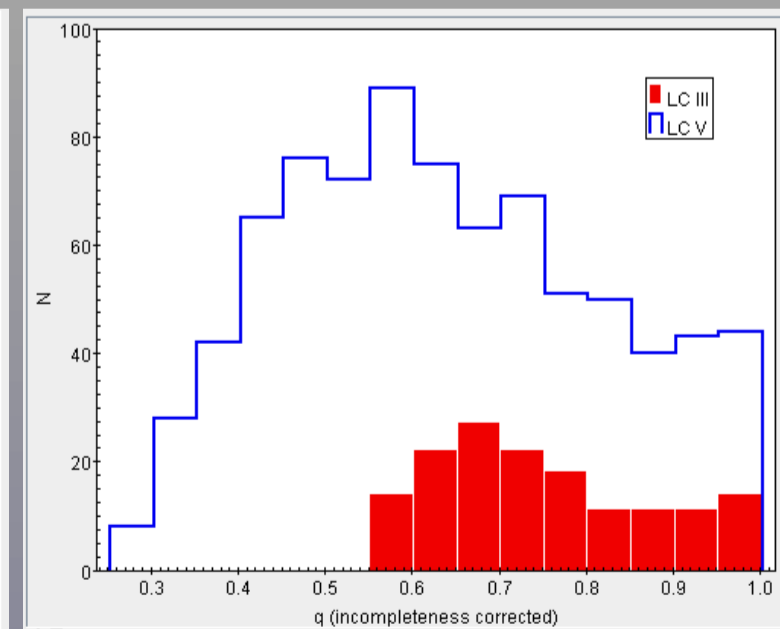


Рис. 5. Распределение по q для выборки с удалением областей наблюдательной неполноты. 900 пар.

5. Результаты

Созданы выборки данных о визуальных двойных звездах для моделирования современных распределений широких двойных звезд по различным параметрам. Для различных выборок оценены распределения по периодам орбит, большим полуосьям, абсолютным блескам, массам компонентов. Выборка 900 пар правилась за влияние эффектов селекции по блеску, разнице блеска и расстоянию между компонентами, но не свободна от эффектов эволюционной селекции и не исправлена за неполноту в объеме. Она позволяет рассмотреть некоторые современные распределения двойных по физическим характеристикам в ограниченной области пространства параметров. Выборка 5700 пар с известными физическими характеристиками компонентов позволяет моделировать наблюдательные распределения двойных по наблюдательным и физическим характеристикам. Выборка 47500 пар с несколькими надежными определениями относительных положений компонентов позволит моделировать распределение по наблюдаемой средней скорости углового движения по орбитам. Очищенная от ошибок выборка, содержащая около 102000 пар, будет использована для построения модели ошибок.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 15-02-04053.