

УДК: 524.38.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД С ИЗВЕСТНЫМИ ОРБИТАМИ

З. Т. КРАЙЧЕВА, Е. И. ПОПОВА, А. В. ТУТУКОВ, Л. Р. ЮНГЕЛЬСОН

Поступила 25 июня 1984 г.

Принята к печати 20 октября 1984 г.

Проанализированы основные эффекты селекции, определяющие выборку визуально-двойных звезд с известными орбитами. Определены основные физические параметры 473 визуально-двойных звезд. Найдено, что исправленное за эффекты селекции распределение звезд по большим полуосям орбит плоское и совпадает с распределением для спектрально-двойных звезд $dN \propto d \lg a$. Функция масс главных компонентов совпадает с функцией Солпитера.

1. Введение. Настоящая статья является продолжением статистического исследования двойных звезд, цель которого — поиск генетически обусловленных распределений двойных звезд по физическим параметрам — массам компонентов, большим полуосям и эксцентриситетам орбит. Ранее [1—9] нами были проанализированы характеристики затменных и спектрально-двойных звезд. Цель данной работы — рассмотреть более широкие системы визуально-двойных звезд. В качестве материала для исследования использован каталог визуально-двойных звезд с известными орбитами Финсена и Уорли [10].

Еще в 30-е годы Койпер [11, 12] указал, что наблюдательная селекция ограничивает возможности наблюдения двойных систем различных типов и может существенно исказить результаты анализа. Рассмотрим положение совокупности двойных звезд на диаграмме масса первичного компонента M_1 — большая полуось орбиты a (рис. 1). (При построении рис. 1 предполагалось, что массы компонентов двойных систем сравнимы). Линия $MS + MS$ на рис. 1 соответствует контактным системам из однородных звезд. Ниже могут располагаться только двойные звезды с компонентами — вырожденными карликами, нейтронными звездами и черными дырами. Штриховой линией, уравнение которой $a/R_\odot \approx 6 (M_1/M_\odot)^{1/3}$, отмечен полученный из наблюдений нижний предел a для вновь образующихся двойных систем [8]. Возможность обнаружения спектрально-двойных звезд определяется минимальными обнаружимыми полуамплитудами

лучевых скоростей, которые составляют примерно 40 км/с для звезд с двумя видимыми спектрами и 2—10 км/с в зависимости от спектрального класса для звезд с одним видимым спектром (см. рис. 7 в [9]). Отметим, что практически все спектрально-двойные звезды являются тесными в эволюционном смысле, т. е. в них возможен обмен веществом между компонентами. Границы областей, занимаемых спектрально-двойными и тесными двойными системами, также отмечены на рис. 1. Подавляющее боль-

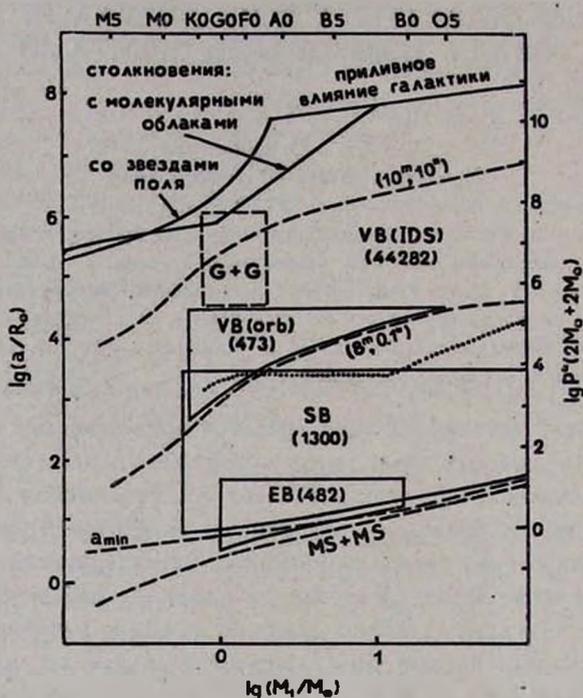


Рис. 1. Положение совокупности двойных звезд в плоскости масса первичного компонента — большая полуось орбиты. На верхней шкале указаны спектральные классы звезд в соответствии с соотношением спектр—масса [32]. На правой шкале указаны значения периода ρ в днях для пары из двух звезд, каждая из которых имеет массу $2M_{\odot}$. Сплошными линиями выделены области, занимаемые затменно-двойными звездами (EB), исследованными в работе [6], визуально-двойными звездами с известными орбитами (VB), исследованными в настоящей работе, и спектрально-двойными звездами (SB). Штриховые линии — физические пары из каталога IDS. G + G — область доступных наблюдениям визуально-двойных звезд с компонентами-гигантами. Пунктир — верхняя граница положения тесных в эволюционном смысле двойных звезд. Остальные обозначения пояснены в тексте.

шинство физических визуально-двойных звезд имеет большие полуоси орбит $a'' \approx 0.''1 - 10''$ и видимые звездные величины главных компонентов $m_v \approx 8^m - 10^m$ [14]. Нижний предел $a'' \approx 0.''1$ определяется разре-

шающей способностью инструментов с апертурой $D \leq 100$ см, которые обычно используются для обнаружения визуально-двойных звезд. Пары с $\alpha'' \geq 10''$ и $m_v \approx 10^m$ при проверке статистическими методами, как правило, оказываются оптическими [14]; при $m_v > 10^m$ [15] изображения звезд размываются и фрагментируются. Исключив из уравнения

$$m_v - M_v = 5 \lg r - 5 + 1.9 \cdot 10^{-3} r \quad (1)$$

расстояние до звезды r с помощью соотношения $\alpha'' = 4.65 \cdot 10^{-3} a/r$, где a — в R_\odot , r — в парсеках, и задавшись соотношением масса—светимость [13], получаем уравнение для линий ($8^m, 0.''1$) и ($10^m, 10''$), которые ограничивают на рис. 1 область обнаружимости визуально-двойных звезд с компонентами V класса светимости. Отметим сразу, что область визуально-двойных звезд практически не совпадает с областью спектрально-двойных звезд, следовательно, все визуально-двойные звездные системы являются широкими в эволюционном смысле.

Из рис. 1 следует, что при $\lg \frac{M_1}{M_\odot} \geq 0.3$ и $\lg \frac{a}{R_\odot} \approx 3.3-4.5$ двойные звезды не обнаруживаются ни как спектральные, ни как визуальные двойные. Их изучение возможно методами спекл-интерферометрии или покрытия звезд Луной. Весьма перспективным представляется использование космического телескопа, который обеспечивает большое угловое разрешение и способен разделять компоненты со значительно различающимися яркостями [16]. Одновременно спектрально- и визуально-двойными могут быть лишь звезды с $M_1 \approx 1M_\odot$ и $a \approx 10^3 R_\odot$.

Среди визуально-двойных звезд можно выделить 695 звезд с известными орбитами. Их нижняя граница на рис. 1 совпадает с нижним пределом обнаружимости при $\alpha'' \approx 0.''1$, а верхняя определяется тем, что орбитальные периоды этих звезд, как правило, не превышают нескольких сот лет. Более широкие системы — это по существу пары с общим собственным движением. Некоторый выигрыш в числе звезд с известными абсолютными размерами можно получить, переходя к системам с компонентами-гигантами (см. на рис. 1 область $G + G$), но неуверенность в соотношении масса — спектр для гигантов снижает значимость результатов.

Большая полуось орбиты двойной звезды не может быть сколь угодно велика. Она, прежде всего, ограничена приливным влиянием Галактики. Предельное значение a_1 можно оценить положив, что в устойчивой системе a не должно превосходить радиуса полости Роша в двойной системе, компонентами которой являются двойная звезда и Галактика в целом:

$$a_l \lesssim 0.46 \left(\frac{M_1 + M_2}{M_G} \right)^{1/3} R_G. \quad (2)$$

Здесь M_1, M_2 — массы компонентов, M_G, R_G — масса и радиус Галактики. Для a использована аппроксимационная формула Пачинского [17]. Соответствующая линия нанесена на рис. 1. Размеры двойных систем могут также ограничивать столкновения с массивными молекулярными облаками, в ходе которых большие полуоси могут превысить предел устойчивости. Для оценки предельных a заменим в соотношении (2) M_G на массу облака M_{cl} и R_G — на минимальное расстояние между облаком и звездой:

$$r_{\min} \approx \left(\frac{VM_{cl}}{\pi M_* v t_{MS}} \right)^{1/2},$$

где $V \approx 10^{67} \text{ см}^3$ — объем Галактики, $M_* \approx 5 \cdot 10^9 M_\odot$ — суммарная масса облаков [18], $v \approx 30 \text{ км/с}$ — характерная скорость движения звезд, $t_{MS} = 3 \cdot 10^{11} (M_\odot/M)^3 \text{ с}$ — время жизни звезды с $M > M_\odot$ или $t_{MS} = 3 \cdot 10^{17} \text{ с}$ при $M \leq M_\odot$. Полагая $M_1 \approx M_2$, получим

$$\frac{a_l}{R_\odot} \lesssim \begin{cases} 10^5 (M_{cl}/M_\odot)^{1/6} (M_1/M_\odot)^{11/6} & \text{при } M_1 > M_\odot, \\ 10^5 (M_{cl}/M_\odot)^{1/6} (M_1/M_\odot)^{1/3} & \text{при } M_1 \leq M_\odot. \end{cases}$$

Учитывая, что $M_{cl} \approx 10^6 M_\odot$, находим предельные a , значения которых нанесены на рис. 1.

Большие полуоси звезд малых масс ($M_1 \leq 2M_\odot$) эффективно ограничивают столкновения со звездами поля. Следуя Амбарцумяну [19] и Чандрасекару [20], можно получить следующее выражение:

$$a_l \ln [a_l v^3 / (G(M + M_1))] \approx v M_1 / 8 \pi t_{MS} \bar{n} M^2, \quad (3)$$

где G — постоянная тяготения, M — масса звезды поля, v — ее скорость, \bar{n} — средняя концентрация звезд поля. Линия, соответствующая пределу (3) при $M = 0.3 M_\odot$, $v = 30 \text{ км/с}$, $\bar{n} = 1 \text{ пс}^{-3}$ нанесена на рис. 1. Ограничение на a из-за столкновений со звездами поля практически совпадает с ограничением из-за столкновений с гигантскими молекулярными облаками. Наблюдения двойных звезд примерно солнечной массы подтверждают выводы о распаде двойных систем с $a \gtrsim 10^6 R_\odot$ [21].

На рис. 1 отмечены области, в которые попадают 482 исследованных нами [6] затменно-двойные звезды V класса светимости с глубиной затмения $A \lesssim 1^m$, которые можно полагать непроэволюционировавшими, ~ 1300 спектрально-двойных звезд из последней версии каталога физи-

ческих параметров спектрально-двойных звезд [22], 473 визуально-двойные звезды V класса светимости с известными орбитами из каталога [10] и 44282 физические пары, выделенные Поведом с соавторами [14] из каталога IDS [23]. Анализ положения двойных звезд на рис. 1 показывает, что практически все двойные системы за исключением систем с $\lg(M_1/M_\odot) \geq 0.3$ и $\lg(a/R_\odot) \approx 3.3 - 4.5$ доступны современным методам наблюдений.

2. Анализ наблюдательного материала. Нами были исследованы визуально-двойные звезды с известными орбитами из каталога [10], в котором содержится информация о 695 объектах. Из них для анализа были отобраны звезды V класса светимости и звезды без класса светимости со спектрами не позднее G5, которым, как показывает рассмотрение распределения по классам светимости звезд каталога [22], можно приписать V класс светимости. Всего были отобраны 473 звезды. Выбор звезд V класса светимости определяется прежде всего относительной простотой учета для них эффектов селекции.

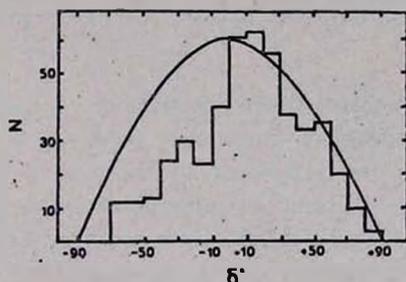


Рис. 2. Распределение исследованных звезд по склонению. Сплошная линия — распределение $dN \sim \cos \delta d\delta$.

Для исследования полноты выборки мы построили распределение ее звезд по склонению δ (рис. 2). Поскольку большинство визуально-двойных звезд с известными орбитами расположено в пределах всего примерно 100 пс от Солнца (см. ниже обсуждение рис. 5b), можно было бы ожидать, что они распределены по небесной сфере по закону $dN \sim \cos \delta d\delta$. Но рис. 2 показывает, что если условно принять выборку для северного неба полной, становится очевидным дефицит исследованных южных звезд. Аналогичная ситуация существует и для спектрально-двойных звезд [9]. Для характеристики неполноты выборки мы введем коэффициент a , равный отношению числа наблюдаемых звезд с известными орбитами к удвоенному их числу на северном небе: $a \approx 0.75$.

На рис. 3 исследованные нами звезды нанесены на плоскость большая полуось истинной орбиты (a'') — разность звездных величин компонен-

тов (Δm_v). Как уже отмечалось при обсуждении рис. 1, выборка ограничена при $a'' \lesssim 0.''1$ условием разрешения компонентов, а при $a'' \gtrsim 1''$ — малой угловой скоростью движения звезд и, соответственно, сложностью определения их орбит. Распределение по Δm_v дает, в принципе, возможность оценить отношение масс компонентов q , используя соотношение $\lg(M_2/M_1) = \lg q \approx 0.1(m_{v_1} - m_{v_2})$. (Шкала q нанесена в правой части рис. 3). Это соотношение справедливо в интервале масс $0.7-1.6 M_\odot$, к которому принадлежит большинство звезд выборки (см. ниже). Однако еще Койпер [11, 12] отметил, что распределение по Δm_v сильно искажено селекцией, суть которой в том, что среди предельно тесных звезд обнаруживаются только пары со сравнимыми светимостями, а следовательно и массами компонентов. Рис. 3 подтверждает существование этого эффекта. Среднее значение Δm_v возрастает с увеличением a'' . Только наиболее широкие пары каталога [10] можно считать свободными от влияния селекции по Δm_v , однако их число слишком мало для каких бы то ни было заключений о распределении по q .

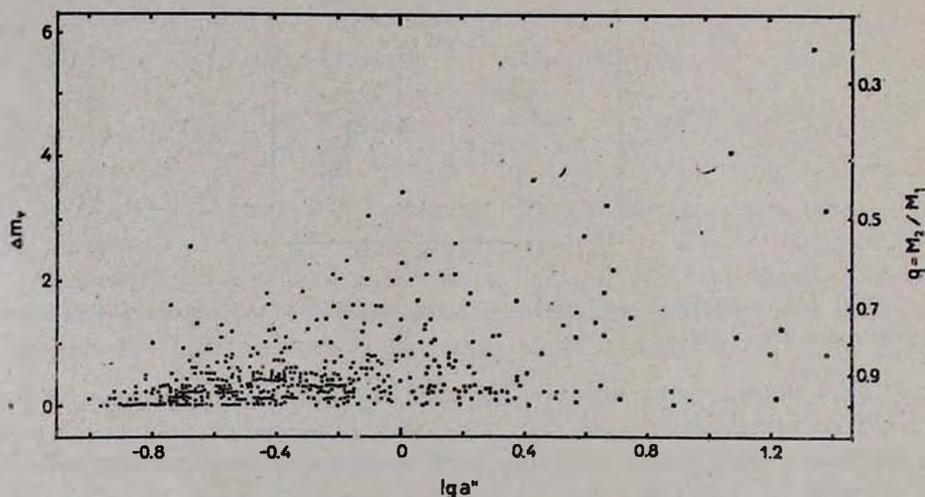


Рис. 3. Соотношение между большими полуосьми орбит и разностями звездных величин компонентов.

На рис. 4а показано распределение звезд выборки по спектрам, на рис. 4б — соответствующая этому распределению наблюдаемая функция масс. Максимум в распределении по спектрам приходится на классы F и G, для которых наблюдательная селекция наименее жесткая [15]. Для построения функции масс использовано соотношение спектр—масса для звезд V класса светимости. Ниже по наблюдаемой функции масс с учетом

эффектов селекции восстанавливается начальная функция масс визуально-двойных звезд (см. рис. 10с).

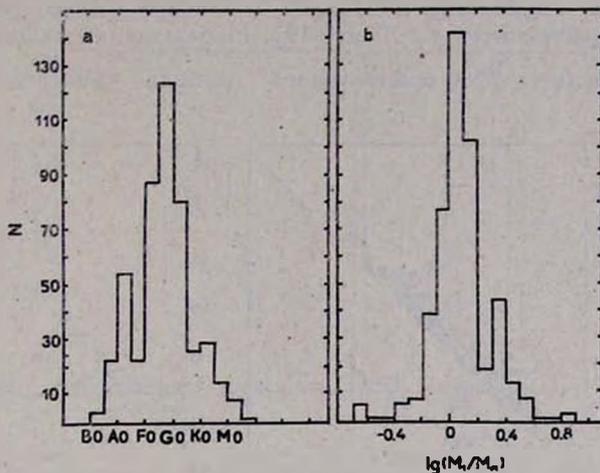


Рис. 4. Распределение звезд по спектрам (а) и по массам первичных компонентов (б).

На рис. 5а нанесено положение звезд выборки в плоскости m_{v_1} — m_{v_2} , на рис. 5б и 5с — распределение вторичных и первичных компонентов по звездным величинам. Сопоставление рисунков выявляет еще один эффект селекции, способствующий обнаружению пар со сравними звездными величинами компонентов. Большинство визуально-двойных звезд с известными орбитами имеет m_{v_1} близкие к предельной, которую можно положить равной 9^m (см. рис. 5с). Но предельная m_{v_1} практически совпадает с предельной m_{v_2} . Поэтому большинство звезд каталога [10] имеет сравнимые звездные величины компонентов, что необходимо учитывать при анализе распределения этих звезд по $q = M_2/M_1$.

Распределение исследованных звезд по орбитальным периодам приведено на рис. 6а. Значения P заключены в пределах от ~ 1 года до ~ 4000 лет, но число звезд с $P > 400$ лет мало из-за трудностей в определении орбит столь широких пар, а число звезд с $P < 40$ лет ограничено малым объемом пространства, в котором они могут быть обнаружены.

Определив по спектрам абсолютные звездные величины компонентов, можно построить распределение звезд по большим полуосям орбит. Оно приведено на рис. 6б.

Почти полвека назад В. А. Амбарцумян [19] указал на большую роль, которую играют исследования распределения двойных звезд по эксцентриситетам орбит e в понимании космогонии двойных систем и в.

определении возраста Галактики. Если распределение звезд по e определяется только распределением по энергии, то

$$dN = 2ede, \quad (4)$$

а средний эксцентриситет $\bar{e} \approx 0.66$ [19]. Наблюдаемая зависимость среднего эксцентриситета \bar{e} от орбитального периода приведена на рис. 7а.

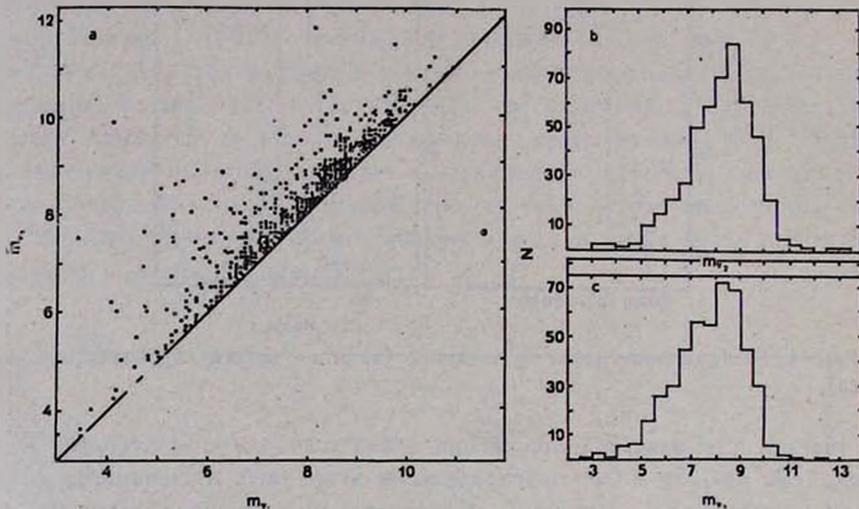


Рис. 5. а) Соотношение между звездными величинами компонентов; б, с) распределение звезд по звездным величинам компонентов.

Средние эксцентриситеты спектрально-двойных звезд с $P < 10^4$ дней приняты согласно Станюхе [24]. Привлечение визуально-двойных звезд с известными орбитами позволяет уточнить зависимость $\bar{e}-P$ для широких систем и подтверждает стремление \bar{e} к 0.5 с увеличением периода, отмеченное ранее Хейнцем [25]. Без учета наблюдательной селекции затруднительно сделать вывод о реальности последнего эффекта. Можно лишь указать на одно обстоятельство, способствующее отбору систем с малым эксцентриситетом среди долгопериодических звезд: компоненты систем с большим e значительное время проводят вблизи апоастров орбит, где их угловое смещение мало и труднообнаружимо.

Рис. 7а показывает, что средние эксцентриситеты орбит всех звезд ниже 0.66, соответствующих распределению (4). Это подтверждает вывод Амбарцумяна [19] о несоответствии распределения (4) наблюдениям. На рис. 7а выделяются малыми значениями e системы с $P \lesssim 10^4$. В работе Поповой и др. [9] было показано, что компоненты тесных систем не мо-

гут иметь большие e , не сталкиваясь в периастрах орбит, и что при $P \leq 10^d$ за время жизни звезд на главной последовательности орбиты могут стать круговыми благодаря приливной диссипации энергии. Более

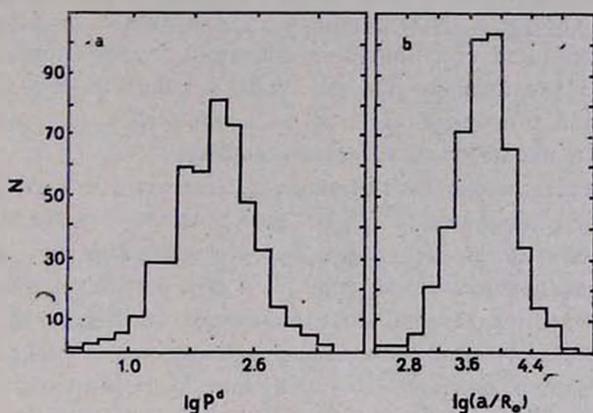


Рис. 6. а) Распределение звезд по орбитальным периодам (в годах); б) распределение звезд по большим полуосям орбит.

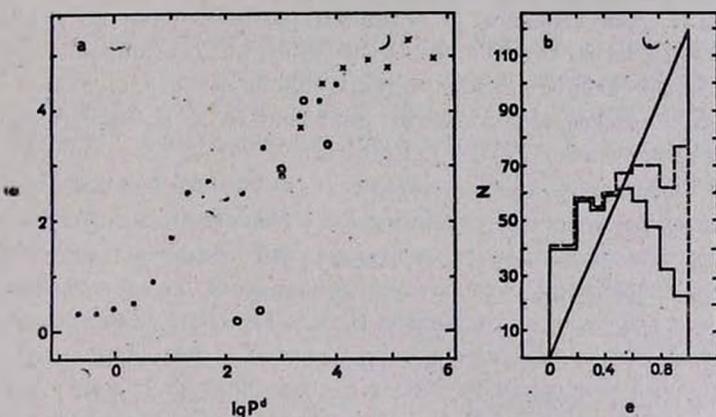


Рис. 7. а) Соотношение между орбитальными периодами и средними эксцентриситетами орбит двойных звезд. Точки — спектрально-двойные звезды [24], крестики — визуально-двойные звезды из данной работы, кружки — сверхгиганты [26]; б) Распределение визуально-двойных звезд с известными орбитами по эксцентриситетам. Сплошная линия — наблюдаемое распределение, штриховая линия — распределение, исправленное за наблюдательную селекцию согласно [28], прямая линия — теоретическое распределение (4), нормированное на общее число систем, исправленное за наблюдательную селекцию.

широкие системы сохраняют генетически обусловленные эксцентриситеты орбит. Представляет интерес возможное изменение эксцентриситета орбиты при эволюционном расширении компонентов. На рис. 7а нанесены 8—1102

усредненные по интервалу $\Delta \lg P = 0.4$ значения эксцентриситетов для 25 систем с сверхгигантами [26]. У этих систем с $P \leq 10^3$ дней e близко к 0. Так же, как в системах с компонентами V класса светимости, причиной этому могут быть два процесса: а) последовательная «отбраковка» все более широких систем с эволюционным увеличением радиусов; б) циркуляция орбит из-за приливной диссипации, эффективность которой возрастает как с увеличением R/a [9], так и с появлением у звезды глубокой конвективной оболочки [27]. Этот вопрос требует дополнительного теоретического и наблюдательного исследования.

Ввиду отсутствия систематического изменения среднего эксцентриситета с периодом у широких ($P > 10^4$ дней) визуально-двойных звезд с известными орбитами, представляет интерес рассмотрение распределения этих систем по эксцентриситетам (рис. 7b). Это распределение может быть отягощено эффектом селекции, обусловленным «потерей» части систем с большим e при случайных по времени наблюдениях. Распределение, исправленное за этот эффект согласно Харингтону и Мираняну [28], также приведено на рис. 7b.

Учет селекции сближает наблюдаемое распределение с теоретическим (4), однако следует отметить избыток систем с малым e и дефицит систем с большим e . Для выводов об истинном распределении по e необходимо дополнительное исследование эффектов селекции для широких систем.

Начальный эксцентриситет орбиты двойной звезды определяется ее энергией E и моментом количества движения L и, вообще говоря, может иметь любое значение от 0 до 1. Состояние с $e = 0$ соответствует минимуму E при заданном L . Для достижения такого состояния протозвезда должна потерять энергию, сравнимую с ее энергией связи в конечном состоянии, то есть значительную часть энергии исходной протозвезды. Возможно, что диссипации способствует образование диска при аккреции основной части вещества протозвезды. В ходе дальнейшей эволюции, как уже упоминалось, для не слишком широких систем может играть роль приливная диссипация энергии. Системы с e , близкими к 1, могут распадаться на фазе быстрой релаксации молодых скоплений. Таким образом, наблюдаемое распределение по e обусловлено как процессами формирования звезд, так и диссипативными процессами, сопровождающими эволюцию звезды.

На рис. 8 показано распределение исследованных нами звезд по наклонению орбит i . Если бы мы могли обнаружить все двойные звезды, то при случайной ориентации плоскостей орбит распределение имело бы вид $dN \sim \sin i di$. Но так как типичное значение a'' для звезд выборки 0."2—1" и при $a'' < 0."$ 1 пары не разрешаются, то в системах с i , близкими к 90° , компоненты значительную часть орбитального периода находятся на угловых расстояниях, меньших предела разрешения, что препят-

стствует обнаружению этих систем. На рис. 8 заметен дефицит систем с i , близкими к 90° . Для характеристики данного эффекта введем коэффициент β , равный отношению доступных обнаружению звезд к их полному числу. Согласно рис. 8 $\beta \approx 0.75$.

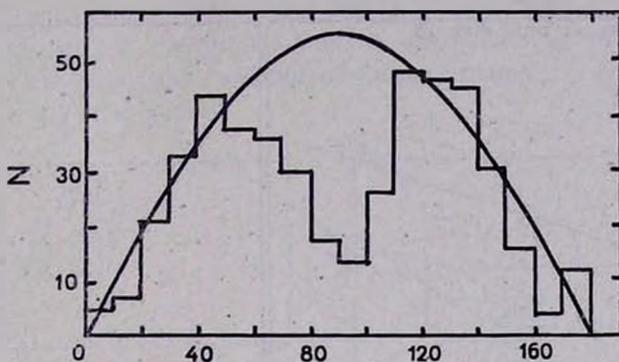


Рис. 8. Распределение звезд по углу наклона i . Сплошная линия соответствует распределению при случайной ориентации плоскостей орбит $dN \sim \sin i di$.

3. *Физические параметры визуально-двойных звезд.* На рис. 9а показано соотношение между большими полуосями и массами первичных компонентов. Эффекты селекции, ограничивающие положение звезд на этой диаграмме, рассмотрены выше при обсуждении рис. 1. Подавляющее большинство звезд сосредоточено между линией $a/R_\odot \approx 10^{4.1} (M_1/M_\odot)^{1/3}$, соответствующей орбитальному периоду 400 лет, и линией, соответствующей пределу разрешения $0.1''$ при $m_v = 8^m$. (Это значение m_v , по существу, характерно для звезд выборки, см. рис. 5с). Звезды, расположенные ниже, ярче 8^m и находятся близко к Солнцу, что и делает возможным их обнаружение.

На рис. 9b показано положение исследованных звезд в плоскости $a-q$. Селекция по разности звездных величин для систем с малыми a'' препятствует обнаружению звезд с $\Delta m_v > 1^m$, то есть с $q \leq 0.8$ [11, 12], поэтому это распределение искажено неизвестным нам образом. Если принять, что при $q \geq 0.8$ влияние этого эффекта селекции несущественно, то становится заметным уменьшение степени концентрации звезд к $q \approx 1$ для самых широких систем ($a \geq 10^4 R_\odot$ или $P \geq 100$ лет). Этот эффект был ранее отмечен Абтом и Леви [29]. Учитывая, что для непроэволюционировавших спектрально-двойных звезд, т. е. тесных систем, по-видимому, характерны q , близкие к 1 [19, 24, 30], необходимо дальнейшее исследование корреляции $a - q$.

Используя распределение звезд в плоскости $M_1 - a$ (рис. 9а), можно попытаться найти исправленное за наблюдательную селекцию распределение звезд выборки по a . Предварительно оценим полноту выборки визуально-двойных звезд V класса светимости с известными орбитами. На

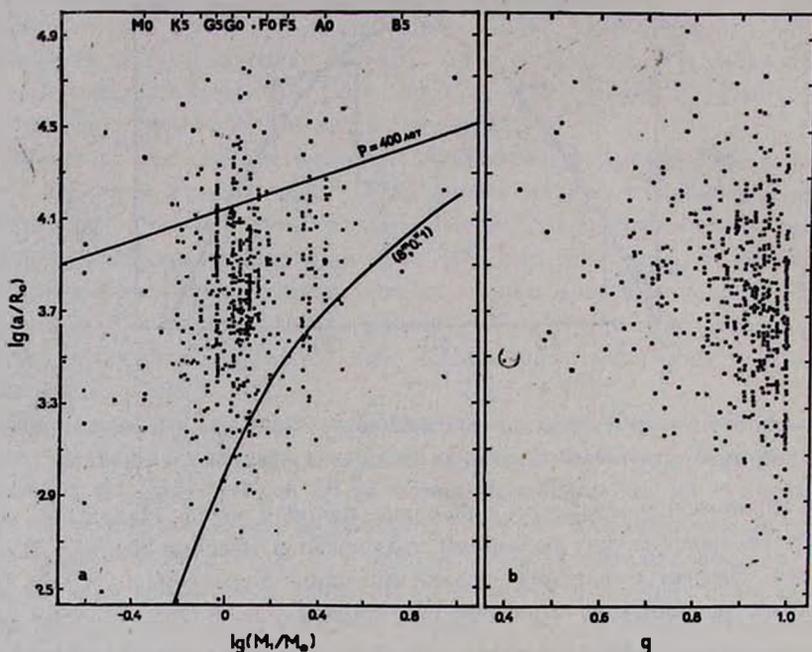


Рис. 9. а) Соотношение между массами первичных компонентов и большими полуосями орбит звезд. Значение ограничительных линий пояснено в тексте; б) Соотношение между большими полуосями орбит (а) и отношениями масс компонентов (q).

рис. 10а нанесена зависимость отношения числа звезд выборки ярче некоторой величины m_{v_1} к полному числу звезд ярче данной m_{v_1} на небе (N_T). N_T может быть оценено с помощью таблицы, приведенной в [13]. Если выборку до $m_{v_1} = 6^m - 7^m$ условно принять полной, то для всех звезд ярче 9^m полнота выборки $\gamma \approx 0.3 - 0.5$.

Учитывая, что основная часть звезд имеет $\lg \frac{M_1}{M_{\odot}} = -0.1 + 0.2$, положим $\bar{M}_1 = 1.12 M_{\odot}$. Если предельная звездная величина выборки $m_{v_1} \approx 9^m$ (см. рис. 5с), из уравнения (1) следует, что изучаемые нами звезды находятся на расстоянии до ~ 90 пс от Солнца. Рис. 3 показывает, что большинство звезд имеет $\alpha'' = 0.2 - 1''$. Теперь каждому значению a можно поставить в соответствие ограниченный двумя сферами объем, в котором звезды с данным a имеют угловое разделе-

ние в пределах $0.2-1''$. Кроме того, поскольку каждой комбинации a и a'' соответствуют разные расстояния и следовательно m_{v_1} , необходимо учесть возможную неполноту выборки по m_{v_1} . Приведя число звезд к одинаковому объему и учтя неполноту выборки γ , получаем „истинное“ распределение звезд по a (рис. 10b). С точностью до фактора порядка 2 распределение в интервале $\lg(a/R_{\odot}) = 3.0-4.0$ плоское и удовлетворяет найденной нами ранее [9] функциональной зависимости $dN \propto d \lg a$.

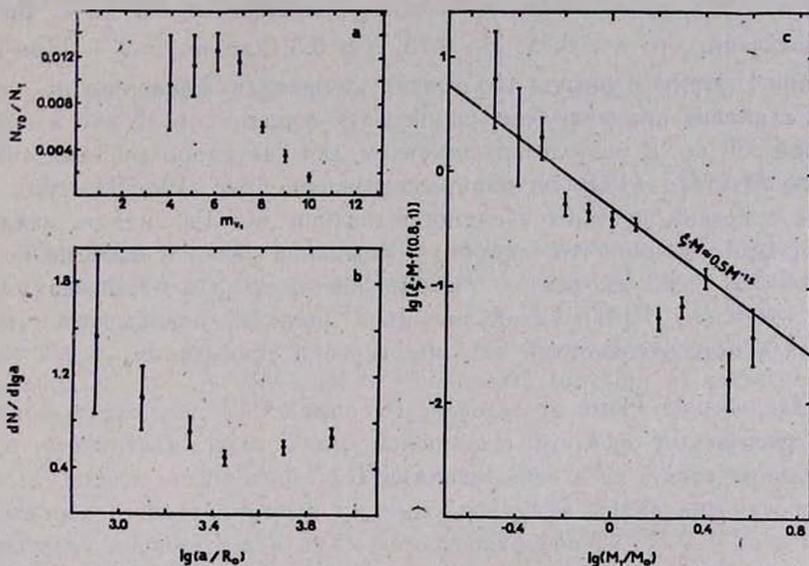


Рис. 10. а) Отношение числа исследованных визуально-двойных звезд ярче некоторой звездной величины (m_{v_1}) к полному числу звезд ярче той же звездной величины; б) Распределение визуально-двойных звезд с известными орбитами по большим полуосям орбит, исправленное за эффекты селекции; в) Начальная функция масс для первичных компонентов $M \cdot \xi(M) \cdot \gamma \cdot f(0.8, 1)$. Непрерывная линия — функция Солпитера, нормированная на скорость образования планетарных туманностей.

Попытаемся далее найти функцию звездообразования для компонентов визуально-двойных звезд с известными орбитами. Число визуально-двойных звезд данной массы M , которые могут быть найдены при исследовании на двойственность всех звезд ярче некоторой предельной звездной величины,

$$\frac{dN(M)}{dM} \approx 0.2 \Delta \lg \left(\frac{a}{R_{\odot}} \right) \frac{\xi(M) \cdot V \cdot T}{V_G} \cdot f(0.8, 1) \cdot a \cdot \beta \cdot \gamma. \quad (5)$$

Здесь $\xi(M)$ — скорость звездообразования в Галактике; V — объем пространства, в котором может быть обнаружена звезда с данной M ;

$V_G = 4.70 \cdot 10^{11}$ пс³ — объем Галактики; $T = 10^{10} (M_\odot/M_1)^3$ лет при $1.5 M_\odot \gtrsim M_1 > M_\odot$ и $T = 10^{10}$ лет при $M_1 \leq M_\odot$ — время жизни первичных компонентов [17]; $\Delta \lg \left(\frac{a}{R_\odot} \right)$ — интервал больших полуосей визуально-двойных звезд с данной M_1 из нашей выборки (см. рис. 9а); коэффициент 0.2 в распределении звезд по $\lg a$ принят согласно [9]; α, β, γ — коэффициенты, описывающие соответственно неполноту выборки по склонению, наклонению орбиты, звездной величине; $f(0.8, 1)$ — доля звезд с отношением масс компонентов от 0.8 до 1. Выше было показано, что $\alpha \approx 0.75$, $\beta \approx 0.75$, $\gamma \approx 0.3$ (для $m_{v_1} = 9^m$). При определении V следует учесть, что предельная звездная величина $m_{v_1} = 9^m$ и что Галактика представляет собой диск с радиусом 15 кпс и полутолщиной 330 пс. В результате получаем для визуально-двойных звезд функцию $M \cdot \xi(M) \cdot f(0.8, 1)$, изображенную на рис. 10с. На тот же рис. 10с нанесена функция звездообразования для Галактики, найденная в предположении, что скорость рождения звезд с массами большими $0.8 M_\odot$ равна скорости образования ядер планетарных туманностей $\sim 0.5 \text{ год}^{-1}$ [31]. Сравнение двух функций показывает, что в пределах неопределенностей они практически совпадают.

4. *Заключение.* Нами исследована выборка из 473 визуально-двойных звезд с решенными орбитами с компонентами V класса светимости. Кроме неполноты охвата неба наблюдениями (селекция по склонению δ), выборка ограничена рядом эффектов селекции принципиального характера: системы с $a'' < 0.1''$ не обнаруживаются из-за недостаточной разрешающей способности инструментов; количество систем с $a'' > 1''$ ограничено малостью наблюдаемого углового смещения звезд за период ~ 100 лет, в течение которого эти звезды исследуются; малая яркость позволяет обнаруживать лишь $\sim (30-50)\%$ систем с $m_v = 7^m - 9^m$; при малых a'' не удастся обнаружить спутники с $\Delta m_v \geq 1^m$. Мы попытались учесть перечисленные эффекты и «восстановить» истинные распределения визуально-двойных звезд по физическим параметрам. Найдено, что в интервале $3 \leq \lg \frac{a}{R_\odot} \leq 4$ распределение звезд по большим полуосям орбит близко

к плоскому и продолжает в область больших a найденное ранее для спектрально-двойных звезд распределение $dN \propto d \lg a$. При таком распределении по a функция звездообразования по массе для первичных компонентов удовлетворительно совпадает с функцией Солпитера и дает частоту звездообразования, близкую к частоте, оцениваемой по скорости образования галактических планетарных туманностей. К сожалению, из-за се-

лекции по Δt_0 не удастся оценить распределение визуально-двойных звезд по еще одному важному генетическому параметру — $q = M_2/M_1$. В исследовании этого распределения могут сыграть важную роль методы детектирования, позволяющие разделять компоненты со значительно отличающимся блеском: покрытия звезд Луной, спекл-интерферометрия (особенно в инфракрасной области спектра), использование космического телескопа.

Астрономический совет АН СССР
Сектор астрономии Болгарской АН

PHYSICAL PARAMETERS OF VISUAL BINARIES WITH COMPUTED ORBITS

Z. T. KRAICHEVA, E. I. POPOVA, A. V. TUTUKOV, L. R. YUNGELSON

The main selection effects that define the sample of visual binaries with computed orbits are analysed. The main physical parameters of 473 visual binaries are determined. The distribution of these binaries over major semiaxes of orbits after correction for selection effects corresponds to the law $dN \propto d \lg a$. The mass function of primaries is the Salpeter one.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Т. Крайчева, Е. И. Попова, А. В. Тутуков, Л. Р. Юнгельсон, *Астрон. ж.*, 55, 1176, 1976.
2. Z. T. Kratichewa, E. I. Popova, A. V. Tutukov, L. R. Yungelson, *Nonstationary Evolution of Close Binaries*, PWN, Warszawa, 1978, p.25.
3. Э. Т. Крайчева, Е. И. Попова, А. В. Тутуков, Л. Р. Юнгельсон, *Астрон. ж.*, 56, 520, 1979.
4. А. Э. Пискунов, А. В. Тутуков, Л. Р. Юнгельсон, *Письма АЖ*, 5, 81, 1979.
5. A. V. Tutukov, L. R. Yungelson, in: "Close Binary Stars: Observations and Interpretation", eds. M. J. Plavec, D. M. Popper, R. K. Ulrich, Reidel, Dordrecht, 1980, p.15.
6. Э. Т. Крайчева, Е. И. Попова, А. В. Тутуков, Л. Р. Юнгельсон, *Письма АЖ*, 7, 488, 1981.
7. E. I. Popova, A. V. Tutukov, B. M. Shustov, L. R. Yungelson, in: "Binary and Multiple Stars as Tracers of Stellar Evolution," eds. Z. Kopal, J. Rahe, Reidel, Dordrecht, 1982, p. 129.
8. Е. И. Попова, А. В. Тутуков, Л. Р. Юнгельсон, *Письма АЖ*, 8, 297, 1982.
9. E. I. Popova, A. V. Tutukov, L. R. Yungelson, *Astrophys. Space Sci.*, 88, 55, 1982.
10. W. S. Finsen, C. E. Worley, *Rep. Obs. Johannesburg Circ.*, 7, No. 129, 1970.
11. G. P. Kuiper, *P. A. S. P.*, 47, 15, 1935.
12. G. P. Kuiper, *P. A. S. P.*, 47, 121, 1935.

13. *K. У. Аллен*, *Астрофизические величины*, Мир, М., 1977.
14. *A. Poveda, C. Allen, L. Parrao*, *Ap. J.*, 258, 589, 1982.
15. *П. Курто*, *Наблюдения визуально-двойных звезд*, Мир, М., 1981.
16. *The Space Telescope Observatory*, ed. D. N. B. Hall, NASA, 1982.
17. *B. Paczynski*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 9, 183, 1971.
18. *M. A. Gordon, W. B. Burton*, in: "Giant Molecular Clouds in the Galaxy," eds. P. M. Solomon, M. G. Edmunds, Pergamon Press, Oxford, 1980.
19. *В. А. Амбарцумян*, *Астрон. ж.*, 14, 207, 1937.
20. *С. Чандрасекар*, *Принципы звездной динамики*, ИЛ, М., 1948.
21. *J. N. Bahcall, R. M. Sonstro*, *Ap. J.*, 246, 122, 1981.
22. *Z. T. Krattcheva, E. I. Popova, A. V. Tutukov, L. R. Yungelson*, *Bull. Inf. CDS*, 19, 71, 1980.
23. *H. M. Jeffers, W. H. van den Bos, F. M. Gresby*, *Publs. Lick Obs.*, 21, 1963.
24. *M. Staniucha*, *Acta Astronomica*, 29, 587, 1979.
25. *W. D. Heintz*, *J. R. Astr. Soc. Canada*, 63, 275, 1969.
26. *G. Burki, M. Mayor*, *Astron. Astrophys.*, 124, 256, 1983.
27. *J. P. Zahn*, *Astron. Astrophys.*, 57, 383, 1977.
28. *R. S. Harrington, M. Mitrangan*, *P. A. S. P.*, 89, 400, 1977.
29. *H. Abt, S. Levy*, *Ap. J. Suppl. ser.*, 36, 241, 1976.
30. *L. B. Lucy, E. Ricco*, *A. J.*, 84, 401, 1979.
31. *I. Iben, A. V. Tutukov*, *Ap. J.* 282, 615, 1983.
32. *V. Trimble, A. J.*, 79, 967, 1974.