

Специальная астрофизическая обсерватория РАН

На правах рукописи
УДК 524.388; 524.63; 524.68

Растегаев Денис Александрович

**КРАТНОСТЬ БЛИЗКИХ ЗВЕЗД ГАЛО И ТОЛСТОГО
ДИСКА**

Специальность: 01.03.02 – астрофизика и радиоастрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Нижний Архыз – 2009

Работа выполнена в Специальной астрофизической обсерватории
Российской академии наук

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН
Балега Юрий Юрьевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Трушкин Сергей Анатольевич
Специальная астрофизическая
обсерватория РАН

доктор физико-математических наук
Орлов Виктор Владимирович
Санкт-Петербургский государственный
университет

Ведущая организация: Институт астрономии РАН, г. Москва

Защита состоится 15 апреля 2009 года в 9³⁰ на заседании диссертационного
совета Д002.203.01 в Специальной астрофизической обсерватории Российской
академии наук по адресу: 396167 САО РАН, пос. Нижний Архыз, Карачаево-
Черкесская республика, Россия

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан “ ____ ” марта 2009 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
к.ф.-м.н. Е. К. Майорова.

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Исследование низкометаллических звезд ($[\text{Fe}/\text{H}] < -1$) позволяет пролить свет на многие проблемы современной астрофизики, из которых можно выделить производство тяжелых элементов при взрывах сверхновых, функцию распределения металличности звездного гало, первичную функцию масс, природу Большого Взрыва и первичных звезд (население III типа). Важную нишу среди подобных проблем занимают вопросы происхождения и эволюции (химической и динамической) нашей Галактики. Самые старые звезды с массами $M \lesssim 0.8 M_{\odot}$ не успели проэволюционировать за время существования Галактики, и содержание химических элементов в их атмосферах отражает состав протозвездного вещества. Дополнительная информация о пространственном движении этих звезд сохраняет возможность восстановления картины формирования Млечного Пути.

Важным способом изучения протозвездного вещества является исследование орбитальных элементов двойных и кратных звездных систем. С момента формирования у одиночной звезды сохраняется всего один параметр — масса. Двойные и кратные системы обладают еще тремя дополнительными сохраняющимися величинами: угловым моментом, эксцентриситетом и отношением масс компонентов. Таким образом, двойные и кратные звезды несут больше информации о процессе звездообразования, чем одиночные, а изучение двойных и кратных низкометаллических систем позволяет наложить ограничения на физические условия в протозвездном веществе в момент зарождения нашей Галактики. Звезды с низким содержанием металлов входят в состав шаровых скоплений и поля Галактики, в котором выявлено наличие так называемых звездных потоков (см., например, Eggen, 1996a, 1996b). Логично предположить, что кратность и орбитальные параметры звезд, входящих в эти потоки, также могут дать дополнительную информацию о природе прародителя потока и его динамической эволюции.

Проблеме кратности звезд уделено много внимания в литературе, одна-

ко в основном это касается звезд тонкого диска, которые обладают металличностью, схожей с солнечной (Duquennoy & Mayor, 1991; Fischer & Marcy, 1992; Halbwachs et al., 2003). Низкометаллические звезды являются менее исследованными, поскольку их число, согласно данным каталога Nordström et al. (2004), в окрестности Солнца составляет меньше 1%. Ранние работы, в которых рассматривалась доля спектрально-двойных систем среди звезд населения II типа, говорили о том, что это значение мало по сравнению с аналогичным для звезд населения I типа (Abt & Levi, 1969; Crampton & Hartwick, 1972; Abt & Willmarth, 1987), более поздние (Preston & Sneden, 2000; Goldberg et al., 2002; Latham et al., 2002) — свидетельствуют о неразличимости этих величин (см. также Abt, 2008). Важную роль в исследовании кратности низкометаллических звезд сыграл многолетний спектральный мониторинг около 1 500 близких звезд с большими собственными движениями (Carney et al., 1994, 2001; Goldberg et al., 2002; Latham et al., 2002). Спектральные исследования охватывают системы с относительно короткими орбитальными периодами ($P \lesssim 10$ лет). Изучение долгопериодических пар с компонентами с общим собственным движением (Zapatero Osorio & Martin, 2004) подтверждает представление о равенстве долей двойных звезд старого и молодого звездных населений (см. также Allen et al., 2000). Между тем “промежуточный” диапазон периодов $P \sim 10 - 1\,000$ лет, соответствующий орбитальным полуосьям $a \sim 10 - 100$ а.е., доступный исследованию методами адаптивной оптики, спекл-интерферометрии и длинноволновой интерферометрии, остается на сегодняшний день плохо изученным. Немногочисленные наблюдения звезд населения II типа интерферометрическими методами проводились для наиболее ярких звезд (Lu et al., 1987) и со сравнительно невысоким угловым разрешением (Zinnecker et al., 2004). Несмотря на имеющиеся результаты, число известных двойных и кратных систем с компонентами низкой металличности остается небольшим. Сказанное выше определяет актуальность интерферометрического исследования звезд старого населения Галактики.

Шестиметровый телескоп БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН предоставляет уникальные возможности для изучения кратных

звезд населения II типа в широком диапазоне угловых расстояний и разностей блеска компонентов. Благодаря высокой стабильности оптической передаточной функции массивного главного зеркала БТА позволяет реализовать в интерферометрическом режиме рекордное для наземных телескопов угловое разрешение — до $\approx 0.015''$ в видимой части спектра (Kraus et al., 2009). В сочетании с новой системой для спекл-интерферометрии звезд на основе EMCCD с предельной квантовой эффективностью (Максимов и др., 2009) на телескопе БТА обеспечивается возможность обнаружения слабых спутников звезд до 14 звездной величины при разнице блеска до 5 величин.

Целями данного исследования являются:

- Определение доли двойных и кратных систем среди старого населения Галактики по выборке 223 близких ($\lesssim 250$ пк) субкарликов, изученной с применением спекл-интерферометрии, а также с привлечением данных спектральных и визуальных исследований из литературы.
- Оценка распределения орбитальных элементов двойных и кратных звезд гало и толстого диска и сравнение с таковым для карликов тонкого диска.
- Определение физических характеристик компонент двойных и кратных звезд населения II типа.
- Сопоставление полученных результатов с теориями формирования звезд в ранней Галактике и моделями образования старых галактических подсистем.

Научная новизна и практическая ценность работы

- Выполнены однородные спекл-интерферометрические наблюдения 223 близких низкометаллических звезд на 6-м телескопе БТА САО РАН.
- Определена доля двойных и кратных звезд в выборке путем комбинирования результатов спектральных, интерферометрических и визуальных

исследований.

- Впервые построено распределение орбитальных периодов в широком диапазоне для двойных и кратных субкарликов.
- Получено распределение отношения масс компонентов двойных систем населения II типа.
- Впервые определены фундаментальные параметры (массы компонентов, соотношения орбитальных периодов подсистем) низкометалличной квадрупольной системы G89-14.

Вышеперечисленные результаты позволяют исследовать условия звездообразования в ранней Галактике, а также наложить ограничения на формирование различных галактических структур. Последующий мониторинг обнаруженных двойных и кратных систем позволит уточнить зависимость “масса-светимость” для звезд с низким содержанием металлов.

На защиту выносятся

1. Результаты интерферометрического обзора выборки 223 субкарликов поля F, G и ранних K спектральных классов с металличностью $[m/H] < -1$, находящихся ближе 250 пк от Солнца, в диапазоне угловых расстояний от $0.03''$ до $3''$ и максимальной разностью блеска между компонентами 5 звездных величин. Обнаружение 5 новых двойных систем (G191-55, G114-25, G142-44, G28-43, G130-7), 3 тройных системы (G87-47, G111-38, G190-10) и одной четверной (G89-14).
2. Определение доли двойных и кратных систем среди звезд поля населения II типа на основе спекл-интерферометрического обзора выборки с привлечением результатов спектральных и визуальных измерений. Соотношение одиночных, двойных, тройных и четверных систем для 221 главного компонента выборки составляет 147:64:9:1.
3. Построение распределения периодов и отношения масс компонентов двойных и кратных субкарликов выборки. Распределение периодов асиммет-

рично с максимумом в области $P = 10^2 - 10^3$ дней, а распределение отношения масс компонентов двойных систем близко к равномерному в диапазоне $q = 0.2 - 1$.

4. Определение физических характеристик уникальной квадрупольной системы G89-14 с $[m/H] = -1.9$: масс компонент, соотношения орбитальных периодов подсистем.
5. Полученный на основании сопоставления результатов обзора с данными наблюдений шаровых скоплений вывод о том, что более вероятными механизмами образования звезд гало являются аккреция карликовых галактик и формирование субкарликов гало внутри самой Галактики.

Апробация результатов работы

Результаты диссертации докладывались автором на научных семинарах и конкурсах научных работ САО РАН, а также были представлены на следующих российских и международных конференциях:

1. “Multiple Stars Across the H-R Diagram”, 12-15 July 2005, Garching, Germany.
2. “The Milky Way Halo — Gas and Stars”, 29 May – 2 June 2007, Bonn, Germany.
3. “Всероссийская Астрономическая Конференция” (ВАК-2007), 17-22 сентября 2007, Казань.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, четырех приложений и списка литературы. Она содержит 144 страницы, 48 рисунков, 11 таблиц. Список литературы насчитывает 119 наименований.

Содержание работы по главам

Во **введении** обсуждаются актуальность работы, цели и задачи исследования, научная новизна, научная и практическая значимость работы, а также приводится список работ, в которых опубликованы результаты диссертации с указанием личного вклада автора в совместных публикациях.

В **первой главе** рассмотрены основные характеристики звезд населения II типа. Приведен обзор современного состояния изучения двойных и кратных звезд гало и толстого диска в сравнении с данными, полученными для звезд тонкого диска. В этой же главе представлена выборка 223 субкарликов, находящихся не далее 250 пк от Солнца, отобранных из спектрального каталога звезд с большими собственными движениями ($\mu \gtrsim 0.2''/\text{год}$) Carney et al. (1994) по следующим трем критериям:

- металличность $[m/H] < -1$,
- склонение $\delta > -10^\circ$,
- видимая звездная величина $m_V < 12^m$.

Отличительной особенностью данной выборки является исследование вошедших в нее звезд визуальным методом (Allen et al., 2000; Zapatero Osorio & Martin, 2004). Рассмотрены возможности изучения двойных и кратных звезд населения II типа методом интерферометрии, заполняющим “пробел” между спектральными и визуальными исследованиями.

Во **второй главе** рассмотрены основы спекл-интерферометрии и возможности ее применения для изучения кратных систем с низкой металличностью. Турбулентность земной атмосферы сильно ограничивает угловое разрешение крупных оптических телескопов. Одним из методов изучения астрономических объектов с дифракционным разрешением является анализ короткоэкспозиционных (~ 0.01 с) изображений, полученных в узких фильтрах — спекл-интерферограмм, спектр мощности которых содержит высокочастотную пространственную информацию (Labeugie, 1970). Описаны принципы работы спекл-интерферометра, методика и техника спекл-наблюдений звезд

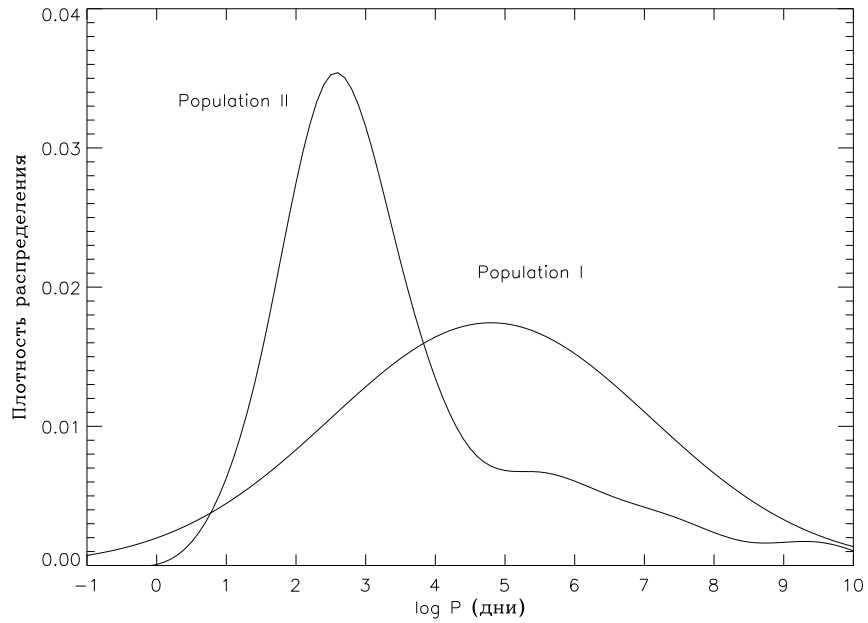


Рис. 1. Плотность распределения орбитальных периодов для двойных звезд нашей выборки (Population II), интерполированная кубическим сплайном, и для звезд тонкого диска (Population I), аппроксимированная гауссианой (Duquennoy & Mayor, 1991).

гало и толстого диска на БТА. Даны основы редукции спекл-изображений двойных звезд: определение позиционных параметров ρ и θ и разности блеска между компонентами Δm .

В **третьей главе** представлены результаты спекл-интерферометрических наблюдений звезд выборки на 6-м телескопе БТА САО РАН. Близкие спутники наблюдались у 19 звезд, из которых 16 было разделено астрометрическим методом впервые. Нами было обнаружено 9 новых систем: 5 двойных (G191-55, G114-25, G142-44, G28-43, G130-7), 3 тройные (G87-47, G111-38, G190-10) и одна четверная (G89-14). Приведена таблица с позиционными параметрами ρ и θ и разностью блеска Δm , а также комментарии к разделенным на индивидуальные компоненты звездам. Детально рассмотрены две уникальные системы высокой кратности, вошедшие в нашу выборку: тройная система G40-14 и четверная G89-14. На основе данных из работы Allen et al. (2000), эволюционных треков (Baraffe et al., 1997) и наших спекл-интерферометрических измерений получены оценки масс компонентов четверной системы: $M_A \approx 0.67M_\odot$, $M_B \approx 0.24M_\odot$, $M_C \approx 0.33M_\odot$, $M_D \approx 0.22M_\odot$ и соотношение периодов в трех

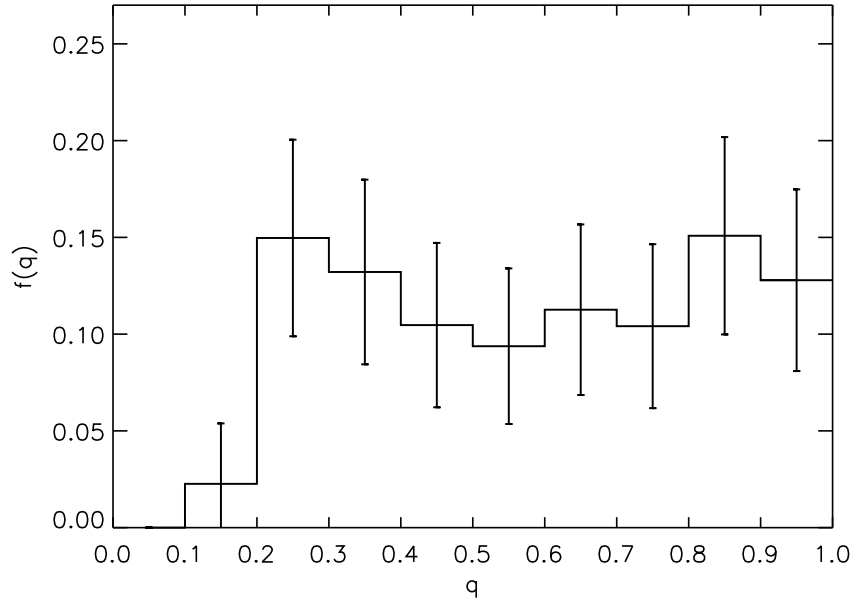


Рис. 2. Плотность распределение отношения масс компонентов $q = M_2/M_1$ для 58 двойных звезд выборки.

подсистемах G89-14, которое составило 0.52 года: 3 000 лет: 650 000 лет.

В **четвертой главе** проведен анализ результатов наблюдений. Определена доля двойных и кратных систем выборки путем комбинирования данных спектральных, спекл-интерферометрических и визуальных наблюдений. Соотношение одиночных, двойных, тройных и четверных систем среди 221 главного компонента выборки составляет 147:64:9:1. Показано (рис. 1), что распределение орбитальных периодов двойных и кратных субкарликов в диапазоне до $P = 10^{10}$ дней асимметрично и имеет максимум в области $P = 10^2 - 10^3$ дней, что отличается от распределения, полученного для G-карликов тонкого диска (Duquennoy & Mayor, 1991). Отношение масс компонентов $q = M_2/M_1$ в двойных системах выборки звезд населения II типа напоминает равномерное в диапазоне $q = 0.2 - 1$ (рис. 2) и также отличается от соответствующих распределений для звезд населения I типа, имеющих рост в сторону меньших q . Проведен анализ неучтенных различными методами компонент у звезд выборки. Рассмотрены потоки старых низкометаллических звезд в окрестности Солнца с точки зрения кратности.

В **заключении** проведено сравнение доли двойных субкарликов в поле и

в шаровых скоплениях, на основании чего показано, что процесс формирования звезд поля гало нашей Галактики путем разрушения шаровых скоплений является маловероятным. Формулируются основные выводы диссертации и приводятся результаты, выносимые на защиту.

В **приложении А** приведен список 223 субкарликов выборки, для которых на телескопе БТА выполнены спекл-интерферометрические наблюдения.

В **приложении В** представлены рисунки, иллюстрирующие основные характеристики звезд выборки.

В **приложении С** приведены звезды выборки, неразрешенные на индивидуальные компоненты спекл-интерферометрическим методом.

В **приложении D** приведен список широких компонент из каталога WDS (Mason et al., 2001) для субкарликов выборки.

Публикации по теме работы

Основные результаты диссертации изложены в 6 работах.

1. Д.А. Растегаев, Ю.Ю. Балегга, Е.В. Малоголовец: “Спекл-интерферометрия низкометаллических звезд в окрестности Солнца. I”, *Астрофизический Бюллетень* **62**, № 3, 251 (2007).
2. И.И. Балегга, Ю.Ю. Балегга, А.Ф. Максимов, Е.В. Малоголовец, Д.А. Растегаев, З.У. Шхагошева, Г. Вайгельт: “Спекл-интерферометрия близких кратных звезд. IV. Измерения 2004 г. и новые орбиты”, *Астрофизический Бюллетень* **62**, № 4, 358 (2007).
3. Д.А. Растегаев, Ю.Ю. Балегга, А.Ф. Максимов, Е.В. Малоголовец, В.В. Дьяченко: “Спекл-интерферометрия низкометаллических звезд в окрестности Солнца. II”, *Астрофизический Бюллетень* **63**, № 3, 298 (2008).
4. D.A. Rastegaev: “Multiplicity of Population II field stars in the solar vicinity”, *Astronomische Nachrichten*, volume 330 (2009).
5. Д.А. Растегаев: “Самая низкометаллическая четверная система субкарликов G89-14”, *ПАЖ*, том 35, № 6 (2009).

6. A.F. Maximov, Y.Y. Balega, I.I. Balega, V.V. Dyachenko, E.V. Malogolovets, D.A. Rastegaev, Z.U. Shkhagosheva: “The EMCCD-based speckle interferometer of the 6 m BTA telescope: performance and results”, *Astrophysical Bulletin* **64**, № 2, 150 (2009).

Личный вклад автора

В перечисленных выше совместных работах автору принадлежат:

- В работах [1-3] — участие в наблюдениях.
- В работах [1,3] — обработка всех данных.
- В работе [6] — исследование временной переменности средней неоднородности чувствительности приемника излучения спекл-интерферометра.

Цитируемая литература

- Abt H. A., AJ **135**, 722 (2008).
- Abt H. A. and Levi S. G., AJ **74**, 908 (1969).
- Abt H. A. and Willmarth D. W., ApJ **318**, 786 (1987).
- Allen C., Poveda A. and Herrera M. A., A&A **356**, 529 (2000).
- Baraffe I., Chabrier G., Allard F., Hauschildt P. H., A&A **327**, 1054 (1997).
- Carney B. W., Latham D. W., Laird J. B., Aguilar L. A., AJ **107**, 2240 (1994).
- Carney B. W., Latham D. W., Laird J. B., Grant C. E., Morse J. A., AJ **122**, 3419 (2001).
- Crampton D. and Hartwick F. D. A., AJ **77**, 590 (1972).
- Duquennoy A. and Mayor M., A&A **248**, 485 (1991).
- Eggen O. J., AJ **112**, 1595 (1996).
- Eggen O. J., AJ **112**, 2661 (1996).
- Fischer D. A. and Marcy G. W., ApJ **396**, 178 (1992).
- Goldberg D., Mazeh T., Latham D. W., Stefanik R. P., Carney B. W., Laird J. B., AJ **124**, 1132 (2002).
- Halbwachs J. L., Mayor M., Udry S., Arenou F., A&A **397**, 159 (2003).
- Kraus S., Weigelt G., Balega Y. Y., Docobo J. A., Hofmann K.-H., et al., A&A, in press (2009).
- Labeyrie A., A&A **6**, 85, (1970).
- Latham D. W., Stefanik R. P., Torres G., Davis R. J., Mazeh T., et al., AJ **124**, 1144 (2002).
- Lu P. K., Demarque P., van Altena W., McAlister H., Hartkopf W., AJ **94**, 1318 (1987).
- А.Ф. Максимов, Ю.Ю. Балегга, Е.В. Малооголовец, Д.А. Растегаев, В.В. Дьяченко и др., *Астрофизический Бюллетень* **64**, принято к печати (2009).
- Mason B. D., Wycoff G. L., Hartkopf W. I., Douglass G. G., Worley C. E., AJ **122**, 3466 (2001).

Nordström B., Mayor M., Andersen J., et al., *A&A* **418**, 989 (2004).

Preston G. W. and Sneden C., *AJ* **120**, 1014 (2000).

Zapatero Osorio M. R. and Martin E .L., *A&A* **419**, 167 (2004).

Zinnecker H., Köhler R., Jahreiß H., *Rev. Mexicana Astron. Astrof.* **21**, 33 (2004).

Бесплатно

Д.А. Растегаев

Кратность близких звезд
гало и толстого диска

Зак. N182с Уч. изд. л. – 1.0 Тираж 100
Специальная астрофизическая обсерватория РАН