

УДК 524.333.7:521.31

ДИСКОВАЯ ПОПУЛЯЦИЯ ЦЕФЕИД ТИПА II В ГАЛАКТИКЕ ПО ДАННЫМ GAIA DR3

© 2025 А. С. Расторгуев^{1,2*}, М. В. Заболотских²¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, 119991 Россия²Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

Поступила в редакцию 10 июня 2025 года; после доработки 24 июня 2025 года; принята к публикации 26 июня 2025 года

По байесовским расстояниям, собственным движениям и лучевым скоростям Gaia DR3 рассчитаны параметры галактических орбит 519 цефеид типа II, классифицированных как переменные звезды типа BL Her, W Vir и RV Tau. Показано, что как минимум 27 переменных типа BL Her из 100, 17 переменных типа W Vir из 308 и 8 переменных типа RV Tau из 111 характеризуются пространственным распределением и параметрами галактических орбит, типичными для населения тонкого/старого диска Галактики. При этом их светимости существенно ниже, чем у классических цефеид (DCEP), и соответствуют светимостям цефеид типа II. Обосновано предположение, что в области полосы неустойчивости, занимаемой короткопериодическими цефеидами типа BL Her, могут находиться звезды старого диска с начальными массами около $0.95 M_{\odot}$, успевшие за время порядка 9 млрд лет проэволюционировать от главной последовательности до стадии начала горения гелия в ядре и достичь полосы неустойчивости. Наличие эволюционных «петель» объясняет существование ряда цефеид типа BL Her, демонстрирующих эволюционное уменьшение периода. Таким образом, в полосе неустойчивости переменных типа BL Her могут сосуществовать как звезды малой массы, находящиеся в фазе эволюции двойного слоевого источника, так и звезды на стадии начала горения гелия в ядре с большей начальной массой. Для уточнения классификации цефеид типа II необходимы более детальные эволюционные и пульсационные расчеты и дополнительные комплексные исследования, включающие, например, оценки пульсационных радиусов.

Ключевые слова: *звезды: переменные: цефеиды — звезды: эволюция — звезды: население II типа — Галактика: звездный состав*

1. ВВЕДЕНИЕ

Как известно, переменность блеска является довольно общим свойством звезд и проявляется на некоторых стадиях их эволюции. Наиболее детально современные принципы классификации переменных звезд описаны на сайте Общего каталога переменных звезд (ОКПЗ) по адресу: <http://www.sai.msu.ru/gcvs/gcvs/vartype.htm> (Samus' et al., 2017). Версия 5.1 ОКПЗ содержит около 52 000 звезд, отнесенных примерно к 120 типам переменности, сгруппированным в семь классов в соответствии с механизмами изменений блеска. Ansari et al. (2023) провели кросс-идентификацию объектов ОКПЗ с Gaia DR3 и указали, что около 10 000 объектов, отнесенных в ОКПЗ к 56 типам переменности, не показали в Gaia DR3 переменности блеска, возможно, вследствие пока не достаточного числа обработанных сканов неба. Следует отметить, что важнейший

для современной астрономии класс пульсирующих переменных разделен на 39 основных типов, среди которых особо выделяются цефеиды. Так, обладающие хорошо выраженной зависимостью «период—светимость», часто называемой «законом Генриэтты Ливитт» (Leavitt and Pickering, 1912), классические цефеиды — яркие сверхгиганты, классифицированные в ОКПЗ как звезды типа DCEP, — считаются лучшими «стандартными свечами» и фактически лежат в основе современной универсальной шкалы расстояний (Madore and Freedman, 1991; Freedman and Madore, 2024). В частности, современные калибровки светимости сверхновых типа Ia созданы на основе цефеидных расстояний до 42 галактик со сверхновыми (Riess et al., 2022, 2024).

В отличие от этих молодых массивных звезд, населяющих тонкий диск Галактики, похожие по виду кривых блеска и показателя цвета звезды существенно меньшей светимости, населяющие сфероидальный компонент Галактики, было принято

*E-mail: alex.rastorguev@gmail.com

считать представителями старого населения Галактики — типа II по Бааде (Baade, 1944). На основе положения в Галактике (большие z -координаты) Harris (1985) составил каталог, содержащий 152 вероятных члена этой популяции и еще 56 объектов с менее уверенной классификацией. Уместно отметить, что в момент создания этого каталога не было достаточно надежных расстояний для большинства звезд и впоследствии классификация некоторых объектов была пересмотрена (Madore and Freedman, 1991; Freedman and Madore, 2024) на основе астрометрических и фотометрических данных Gaia DR3. В настоящее время эти пульсирующие переменные называют цефеидами типа II (в данной статье для краткости и единообразия мы будем использовать для них обозначение T2Cep). В ОКПЗ им присвоено общее обозначение CW (цефеиды типа W Vir). В свою очередь переменные типа CW подразделяют на CWA (собственно переменные типа W Vir с $P_{\text{pls}} \geq 8^{\text{d}}$) и CWB (с $P_{\text{pls}} \leq 8^{\text{d}}$, которые принято относить к переменным типа BL Her).

В разных работах используются различные значения периода, разграничивающие эти два типа переменных T2Cep. Так, Szabados (2010) относит к переменным типа BL Her звезды с $P_{\text{pls}} \leq 8\text{--}10^{\text{d}}$ и светимостью менее $300\text{--}500 L_{\odot}$. Udalski et al. (2015), Soszyński et al. (2017, 2018), Bono et al. (2020) отнесли к переменным типа BL Her звезды с $1^{\text{d}} \leq P_{\text{pls}} \leq 4\text{--}5^{\text{d}}$, а переменные с $4\text{--}5^{\text{d}} \leq P_{\text{pls}} \leq 20^{\text{d}}$ — к типу W Vir. В каталоге цефеид всех типов, отождествленных в рамках миссии Gaia DR3 (VizieR Online Data Catalog I/358/vcep), включающем 15 021 звезду (Riperti et al., 2023; Vallenari et al., 2023), к цефеидам разных типов, принадлежащих Галактике, отнесено 5208 звезд. Из них классических цефеид, обозначенных в ОКПЗ как DCep, насчитывается 3825; среди остальных переменных имеется 118 аномальных цефеид (ACep), а к цефеидам T2Cep отнесено 1265 переменных типов RV Tau, W Vir и BL Her. В качестве пограничного значения периода, разделяющего переменные BL Her и W Vir, в каталоге было принято значение $P_{\text{pls}} \approx 4^{\text{d}}$, а граница между переменными W Vir и RV Tau проходит на $P_{\text{pls}} \approx 25^{\text{d}}$.

Завершая обсуждение разделения на типы переменности только по величине пульсационного периода, следует отметить наличие уверенного минимума вблизи $P_{\text{pls}} \sim 6\text{--}7^{\text{d}}$ на гистограммах распределения по периодам переменных T2Cep в балдже, в поле и в шаровых скоплениях (ШС) в Галактике, а также в БМО и ММО (рис. 2 в статье

Bono et al. (2020)). Там же было отмечено, что распределение по периодам может быть связано с химическим составом. Для определенности в нашей работе мы выберем в качестве естественной объективной границы между типами BL Her и W Vir, то есть между группами короткопериодических и долгопериодических переменных звезд T2Cep, значение периода $P_{\text{pls}} \approx 7^{\text{d}}$ и будем использовать его ниже.

Переменные типов BL Her и W Vir наряду с яркими переменными типа RV Tau, находящимися на стадии эволюции пост-асимптотической ветви гигантов (пост-АВГ), встречаются также в ШС, то есть звездных системах с преимущественно низкой металличностью. По весьма надежным для того времени фотометрическим расстояниям ряда ШС Kukarkin and Rastorguev (1972) впервые вывели для цефеид — членов ШС — зависимость «период—светимость». Использование цефеид T2Cep в качестве «стандартных свечей» (хотя и не таких ярких, как классические цефеиды) обсуждали также Feast et al. (2008).

Согласно общепринятой точке зрения, переменные типа BL Her находятся на стадии эволюции после горизонтальной ветви, с двойным слоевым источником энергии (горение водорода и гелия). В низкометаллических популяциях переменные типа BL Her могут иметь, согласно теоретическим расчетам Bono et al. (2020), сравнительно небольшую массу (от $0.49 M_{\odot}$ до $0.70\text{--}0.80 M_{\odot}$) и находиться на стадии пересечения полосы неустойчивости на пути к АВГ в сторону низких температур. Переменность более ярких звезд АВГ типа W Vir связывают с тепловыми пульсациями (последовательностью гелиевых вспышек в слоевом гелиевом источнике) в звездах с массой около $0.5\text{--}0.6 M_{\odot}$, сопровождающимися кратковременным заходом пульсационных «петель» в полосу неустойчивости (Bono et al., 1997, 2020; Fadeyev, 2020) на уровне светимости $L_{\text{bol}}/L_{\odot} > 1000$.

В наших работах (Rastorguev et al., 2024; 2025) было проведено комплексное исследование двух спектрально-двойных цефеид с самыми короткими орбитальными периодами, AU Peg и TX Del, классифицируемых как цефеиды T2Cep типа BL Her. Использованы данные о лучевых скоростях, фотометрические измерения в полосах B, V , а также G, BP, RP (Gaia DR3), сделаны оценки пульсационных радиусов методом, предложенным в работе Rastorguev and Dambis (2011), определены светимости главных компонентов и на основе прецизионных астрометрических данных Gaia (Prusti et al., 2016; Brown et al., 2018, 2021; Vallenari et al., 2023) о расстояниях и собственных движениях выполнены предварительные расчеты параметров их галактических орбит.

По фотометрическому поведению (периодам пульсаций, кривым блеска, светимости) обе звезды показали вполне типичные для цефеид T2Cep типа BL Her характеристики (за исключением положения AU Peg за красной границей полосы неустойчивости). При этом как по химическому составу ($[\text{Fe}/\text{H}] \sim 0$), так и по характеру галактических орбит — размерам меридионального сечения орбитного тора ($|z| \leq 300\text{--}400$ пк, $\Delta R \sim 1\text{--}2$ кпк), высокой скорости галактического вращения ($V_{\text{rot}} \sim 220\text{--}270$ км с $^{-1}$) — обе цефеиды, а также и цефеиду BL Her, прототип этого подкласса, можно с большой степенью уверенности отнести к типичному населению тонкого или старого диска Галактики со шкалами высот около 100 пк и 300 пк соответственно (Oswalt and Gilmore, 2013).

Следовательно, в полосе неустойчивости пульсирующих переменных звезд T2Cep одновременно наблюдаются объекты, принадлежащие разным населением Галактики — как старым населением гало и толстого диска, характеризующимся значительным дефицитом тяжелых химических элементов, так и типичному населению тонкого или старого диска с почти солнечным химическим составом или небольшим дефицитом тяжелых элементов и возрастом менее 8–10 млрд лет. Уместно напомнить, что еще Joy (1952), предпринявший масштабные спектроскопические наблюдения полуправильных переменных, отметил существование группы звезд типа RV Tau с небольшими пространственными скоростями, характерными для населения диска Галактики.

Кроме того, Rastorguev et al. (2024) отметили, что ни одна из пульсационных моделей, рассчитанных для цефеид типа BL Her в работах Das et al. (2021; 2024), не описывает всей совокупности физических характеристик цефеиды AU Peg. Объективности ради следует отметить, что цефеида AU Peg прошла стадию обмена масс со спутником. Как показали Rastorguev et al. (2025), аналогичный эволюционный сценарий не исключается и для TX Del. Обе эти звезды, возможно, имеют природу, отличную от одиночных звезд — типичных представителей переменных типа BL Her.

Проведенное Yacob et al. (2022) детальное фотометрическое исследование изменяемости периодов восьми переменных T2Cep с $P_{\text{pls}} < 2^{\text{d}}$ (то есть предположительно относящихся к типу BL Her) выявило уверенное уменьшение пульсационных периодов трех звезд: BF Ser, XX Vir и даже прототипа, BL Her, — что прямо противоречит общепринятому сценарию эволюции звезд малой массы от горизонтальной ветви поперек полосы неустойчивости в сторону низких эффективных температур и лишней раз свидетельствует о

Таблица 1. Количественные данные о выборках цефеид T2Cep из каталога Gaia DR3. В столбцах указаны: (1) — типы исследуемых переменных; (2) — их численность; (3) — количество объектов с измеренной лучевой скоростью v_r ; (4) — число объектов, принадлежащих диску Галактики (по r_{geo} или rp_{geo}); (5) — число объектов с ретроградными орбитами

Тип	N_{tot}	N_{v_r}	N_{disk}	N_{retro}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
BL Her ($P_{\text{pls}} \leq 7^{\text{d}}$)	458	100	27	12
W Vir ($7^{\text{d}} < P_{\text{pls}} \leq 25^{\text{d}}$)	652	308	17	40
RV Tau ($P_{\text{pls}} > 25^{\text{d}}$)	155	111	9	20

недостаточно глубоким или неполным понимании природы этой популяции переменных звезд.

Все сказанное выше указывает на определенные трудности и неоднозначности, имеющиеся в современной системе классификации пульсирующих переменных звезд. Не исключено, что к типу T2Cep в рамках существующей классификации отнесены переменные звезды, находящиеся на разных стадиях звездной эволюции.

Поскольку принадлежность переменных звезд к определенным типам населения является одним из важнейших классификационных признаков, мы поставили цель провести предварительный поиск других цефеид T2Cep типов BL Her, W Vir и RV Tau, предположительно обладающих пространственным распределением и кинематикой, характерными для дискового населения Галактики, на основе современных прецизионных астрометрических данных Gaia DR3: байесовских оценок расстояния (Bailer-Jones et al., 2021), собственных движений, а также лучевых скоростей. С появлением высокоточных астрометрических данных подобное исследование популяции переменных типов BL Her, W Vir и RV Tau представляется весьма актуальным.

2. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И МОДЕЛЬ ГАЛАКТИКИ

Используемая выборка цефеид T2Cep взята из каталога VizieR Online Data Catalog I/358/vcep (Ripepi et al., 2023; Vallenari et al., 2023). В таблице 1 приведена общая численность популяции переменных, отнесенных в каталоге Gaia DR3 к цефеидам T2Cep типов BL Her, W Vir и RV Tau. В третьем столбце показано число звезд с измеренными в рамках миссии Gaia DR3 лучевыми скоростями, необходимыми для расчетов галактических орбит и оценки их параметров.

Для расчета галактических орбит использованы байесовские расстояния звезд r_{geo} и rp_{geo}

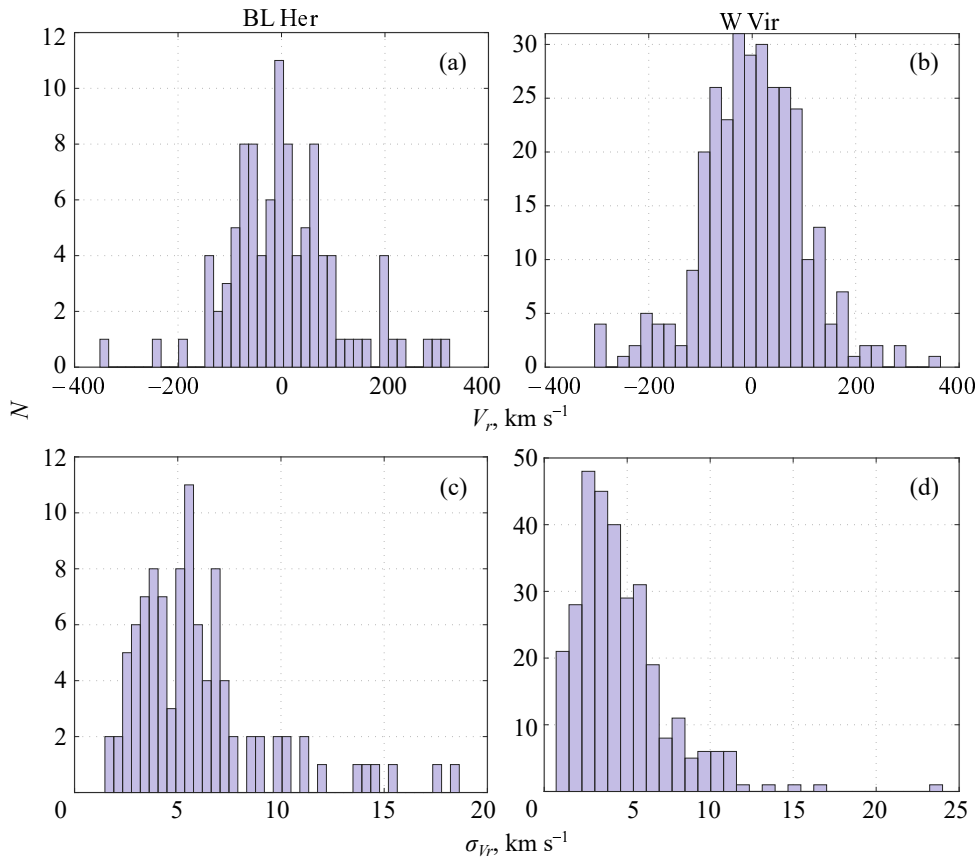


Рис. 1. Гистограммы распределения лучевых скоростей звезд типов BL Her (a) и W Vir (b), а также соответствующие гистограммы распределения ошибок измерения лучевых скоростей (панели (c) и (d)).

(Bailer-Jones et al., 2021), а также приведенные в основном каталоге Gaia DR3 (VizieR Online Data Catalog I/355/gaiadr3) компоненты собственного движения $pmRA$, $pmDE$ и лучевые скорости. Кроме того, в качестве дополнительных классификационных признаков для отбора звезд T2Сер, предположительно принадлежащих к дисковой популяции, учитывались не очень надежные оценки металличности $[\text{Fe}/\text{H}]$, взятые из основного каталога Gaia DR3. На рис. 1 показаны гистограммы распределения лучевых скоростей цефеид типов BL Her и W Vir и ошибок их измерения. Хорошо виден большой разброс лучевых скоростей, свидетельствующий о наличии как высокоскоростной, так и сравнительно «спокойной» популяций объектов. Для большинства звезд лучевые скорости измерены с ошибками менее 10 km s^{-1} , что вполне позволяет использовать лучевые скорости для предварительной оценки параметров галактических орбит.

Необходимо отметить, что данные о собственных движениях звезд Gaia DR3 позволяют с достижимой ранее точностью оценивать тангенциальные скорости объектов. Так, характерная для подавляющего большинства объектов нашей вы-

борки точность собственных движений составляет примерно $\pm 0.020\text{--}0.030 \text{ мсд год}^{-1}$; легко убедиться, что такая погрешность приводит к ошибке тангенциальной скорости на достаточно большом гелиоцентрическом расстоянии (порядка 7 кпк), равной всего лишь $\pm 0.7\text{--}1.0 \text{ км с}^{-1}$, что заметно выше характерной точности измерения лучевых скоростей изучаемых объектов. Несмотря на то что наши определения параметров галактических орбит являются предварительными, достаточно высокая точность пространственных скоростей позволяет рассматривать полученные результаты как вполне приемлемые.

В вычислениях использована трехкомпонентная модель гравитационного потенциала Галактики, описанная в работе Chemel et al. (2018), из которой был исключен вращающийся бар, поскольку при отборе объектов, предположительно относящихся к населению диска, мы решили ограничиться областью за пределами бара, то есть объектами с галактоцентрическими расстояниями $R_G > 4 \text{ кпк}$. Кривая вращения, соответствующая этой модели гравитационного потенциала, приведена на рис. 2. Она адекватно отображает наблюдаемую кривую вращения, определенную, например, Bobylev et al.

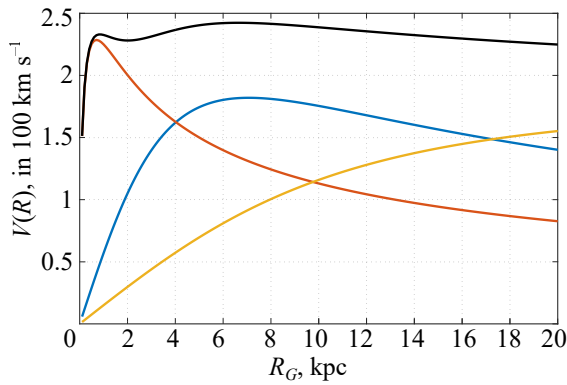


Рис. 2. Кривая вращения для используемой в расчетах модели гравитационного потенциала Галактики. Вклады балджа, диска и гало и полная скорость вращения показаны соответственно красной, синей, желтой и черной сплошными линиями.

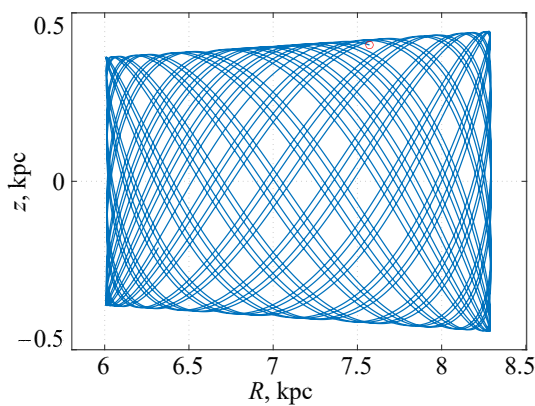


Рис. 3. Меридиональное сечение орбитного тора переменной BL Her.

(2021) по выборке классических цефеид с астрометрическими данными Gaia.

3. ГАЛАКТИЧЕСКИЕ ОРБИТЫ ЦЕФЕИД ТИПА II

В рамках использованной модели гравитационного потенциала Галактики мы рассчитали основные параметры галактических орбит 100 переменных типа BL Her, 308 переменных типа W Vir и 111 переменных типа RV Tau, для которых в каталоге Gaia DR3 имеются оценки средних лучевых скоростей. В качестве основания для отнесения объектов к населению гало или диска мы использовали форму и размеры меридионального сечения орбитных торов (рис. 3), а также направление и величину тангенциальной скорости объекта (то есть удельный осевой угловой момент). Расчеты проводились на интервале 3 млрд лет вперед по времени. Использовались две байесовские оценки расстояния: r_{geo} и rp_{geo} (Bailer-Jones et al., 2021). Если хотя бы в одном из двух вариантов орбита

звезды удовлетворяла приведенным ниже критериям отбора, звезда включалась в список объектов, потенциально принадлежащих дисковому населению.

Мы установили довольно жесткие критерии отбора кандидатов, соответствующие объектам тонкого/старого диска Галактики.

- Полутолщина орбитного тора $|z| \leq 1$ кпк.
- Минимальное расстояние от оси симметрии Галактики $R_{\min} \geq 4$ кпк (с целью уменьшения влияния галактического бара).
- Диапазон расстояний от оси симметрии Галактики (ширина меридионального сечения орбитного тора) $\Delta R \leq 2$ кпк (эквивалентный налагаемому ограничению на дисперсию радиальных скоростей). Одновременно он определяет характерный «эксцентриситет» орбиты звезды, который можно оценить как $\epsilon \sim \Delta R / (R_{\min} + \Delta R/2)$. С учетом указанного выше выбора $R_{\min} \epsilon < 0.4$.
- Мгновенная тангенциальная скорость орбитального движения находится в пределах $200 \text{ км с}^{-1} \leq V_T \leq 300 \text{ км с}^{-1}$.

Учитывая жесткость указанных критериев отбора, можно утверждать, что в данной работе найдена нижняя оценка количества звезд T2, которые могут принадлежать дисковой популяции Галактики. Интересно отметить, что у всех отобранных звезд усредненная по орбите тангенциальная скорость оказалась заключенной в очень узких пределах: $235 \pm 5 \text{ км с}^{-1}$. Это значение практически совпадает с круговой скоростью в модельной галактике. Этого и следовало ожидать при использовании жестких ограничений на размеры меридиональных сечений орбитных торов. У всех звезд, удовлетворяющих указанным критериям, они имеют форму трапеции, что характерно для объектов тонкого или старого диска.

В качестве типичного примера на рис. 4 показаны меридианальные сечения орбитных торов всех девяти цефеид типа RV Tau, отнесенных нами к населению диска (таблица 2). Орбиты цефеид T2Сер типов BL Her и W Vir, представленных в таблице 2, обладают такими же геометрическими и кинематическими характеристиками, и, чтобы не загромождать статью большим количеством похожих рисунков, мы решили их не приводить. Отметим резонансный характер галактических орбит некоторых звезд типа RV Tau (например, цефеид V601 Sco и OGLE GD-T2CER-225). Как видно из столбца (5) таблицы 1, от 10 до 20% исследованных переменных движутся по ретроградным орбитам и, безусловно, относятся к старой популяции T2Сер галактического гало.

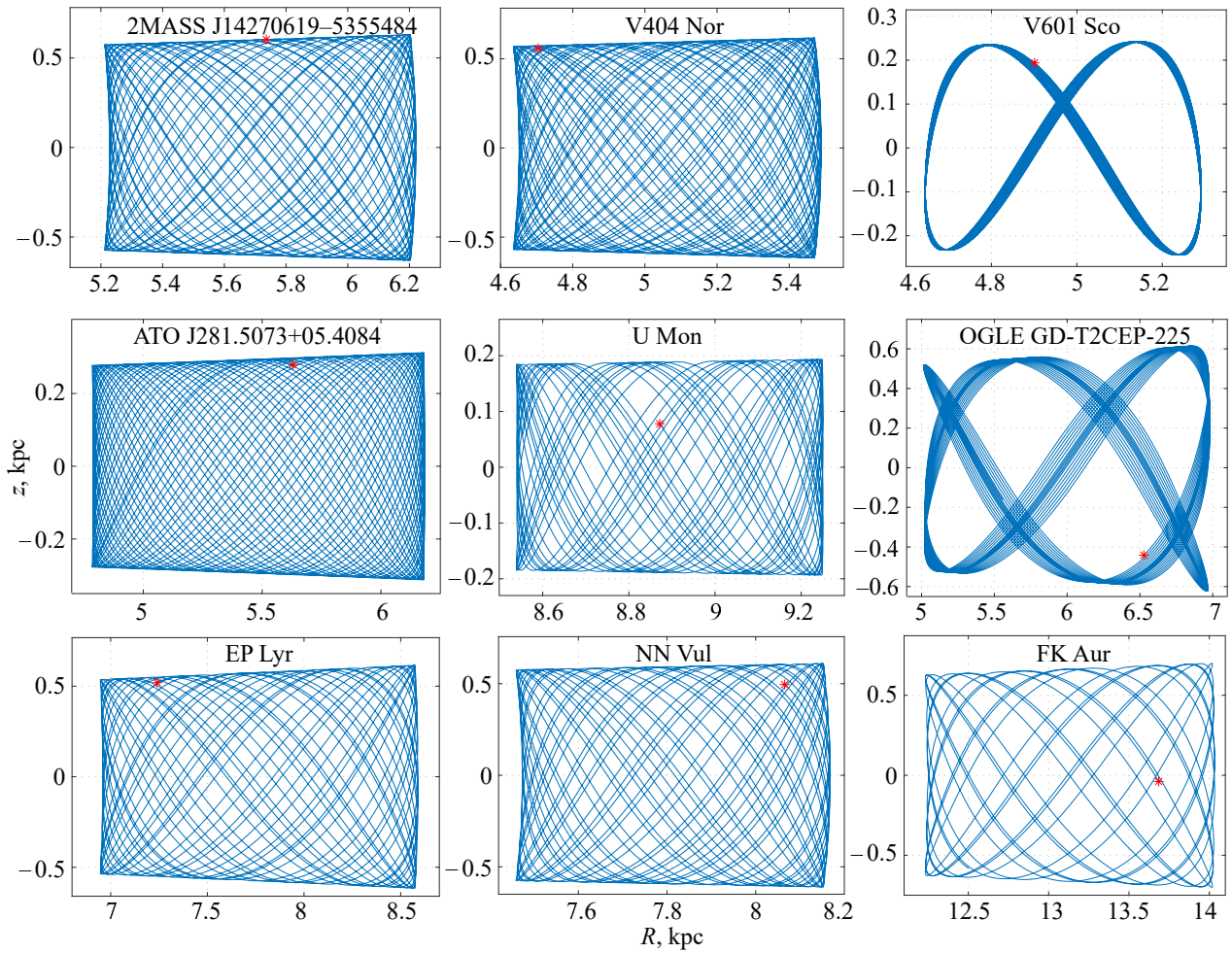


Рис. 4. Меридиональные сечения орбитных торов переменных типа RV Тау. Красными звездочками отмечены начальные положения объектов. В движении переменных V601 Sco и OGLE GD-T2CEP-225 видны резонансные явления.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Списки цефеид T2Cep, обладающих пространственным распределением и кинематикой, характерными для населения диска Галактики, приведены в таблице 2. В них даны обозначения переменных (номера по каталогу Gaia DR3 и альтернативные обозначения из базы данных SIMBAD), классификация согласно SIMBAD, период пульсаций P_{pls} , средние видимые величины Gaia DR3 G , BP , RP и избыток цвета $E(g-r)$. Приведены также нормальный показатель цвета $(BP - RP)_0$, оценки абсолютных величин M_{RP} , M_G и среднее значение индекса металличности $[\text{Fe}/\text{H}]$, определенное с помощью алгоритмов модуля GSP-Phot системы вывода астрофизических параметров Gaia (APSiS) (Bailer-Jones et al., 2013; Creevey et al., 2023; Fouesneau et al., 2023). Отметим, что оценки металличности фактически базируются на призмочной спектроскопии низкого ($R \sim 70-100$) разрешения, используемой в Gaia для определения

блеска в полосах BP , RP , и могут быть обременены значительными ошибками. Именно по этой причине мы используем оценки металличности лишь в качестве дополнительных критериев принадлежности исследуемых звезд к населению диска. В таблице 3 для девяти объектов, заподозренных нами в принадлежности к населению диска, приведены альтернативные значения $[\text{Fe}/\text{H}]$, найденные в базе данных SIMBAD, а для 12 объектов — оценки $[\text{Fe}/\text{H}]$, выведенные в модуле GSP-Spec (Recio-Blanco et al., 2023), использующем также данные дифракционного спектрографа RVS обсерватории Gaia (спектральное разрешение $R \sim 11\,500$); они брались из дополнительного каталога астрофизических параметров Gaia DR3 (VizieR Online Data Catalog I/355/paramp). Как видно из таблицы, различия между оценками металличности могут быть весьма значительными.

Кроме того, на основе байесовских геометрических расстояний r_{geo} (Bailer-Jones et al., 2021) были сделаны оценки абсолютных величин M_G , M_{RP}

Таблица 2. T2Ceps — возможные представители населения галактического диска. В колонках таблицы приводятся: (1) и (2) — обозначения переменных по Gaia DR3 и SIMBAD; (3) — классификация согласно базе данных SIMBAD; (4) — период, (5)–(7) — средние видимые величины G , BP , RP , (8) — избыток цвета $E(g-r)$; (9) — нормальный показатель цвета $(BP-RP)_0$, (10) и (11) — оценки абсолютных величин M_{RP} , M_G ; (12) — среднее значение индекса металличности $[Fe/H]$, определенное в модуле GSP-Phot и включенное в основной каталог Gaia DR3 (Vizier Online Data Catalog I/355/gaiadr3)

Имя Gaia DR3	Обозначение SIMBAD	Тип SIMBAD	P_{pls} , days	$\langle G \rangle$, mag	$\langle BP \rangle$, mag	$\langle RP \rangle$, mag	E_{gr} , mag	$BPRP_0$, mag	M_{RP} , mag	M_G , mag	$[Fe/H]$, dex
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Переменные BL Her											
5845572265108049408	OGLE GD2000.13.00074	DCEP	1.09	14.61	15.06	13.97	—	—	—	—	−0.55
1816085861226864768	BX Del	T2Cep	1.09	12.07	12.34	11.63	0.10	0.59	−0.60	−0.22	+0.10
4278220741789022080	V3567 Oph	T2Cep	1.16	13.66	14.13	13.03	0.49	0.52	−0.81	−0.44	−0.41
5653136461526964224	VY Pix	T2Cep	1.24	7.09	7.39	6.60	0.10	0.68	−0.57	−0.13	−0.23
5826400596245881600	Gaia DR3 Var	T2Cep	1.26	14.48	14.87	13.91	—	—	—	—	−0.01
4527596850906132352	BL Her	T2Cep	1.31	10.07	10.29	9.67	0.08	0.53	−0.78	−0.42	−0.47
4102602827621060864	OGLE BLG-T2CEP-1079	T2Cep	1.39	14.14	14.74	13.38	0.31	1.00	0.32	0.92	−0.46
3283721030024735360	SW Tau	T2Cep	1.58	9.53	9.88	8.98	0.24	0.61	−0.91	−0.50	−0.20
5814122315506225792	DU Ara	T2Cep	1.64	11.95	12.29	11.46	—	—	—	—	+0.13
270841363539777280	ATO J067.5858+50.5722	DCEP	2.01	13.92	14.99	12.88	0.76	1.21	−0.62	0.00	−0.68
5606839187987683840	ATO J109.0418−28.0586	T2Cep	2.03	14.57	14.89	14.05	0.14	0.68	−0.72	−0.28	—
6217308590845895680	HD 129981	T2Cep	2.06	8.30	8.63	7.79	—	—	—	—	−0.25
1824960745472142464	ATO J296.5672+19.6668	T2Cep	2.18	14.60	15.42	13.69	0.79	0.81	−0.86	−0.38	+0.68
5959204794637288192	OGLE BLG-T2CEP-7	T2Cep	2.23	14.50	15.44	13.53	—	—	—	—	+0.53
1785352625740690432	AU Peg	T2Cep	2.41	9.02	9.43	8.45	0.07	0.90	−0.54	−0.01	−0.13
5852915353554740864	OGLE GD-T2CEP-56	T2Cep	2.42	14.87	15.68	13.97	—	—	—	—	—
5932284528150696704	OGLE GD-CEP-1144	DCEP	2.64	11.67	11.94	11.22	—	—	—	—	+0.07
6058292374566124416	OGLE GD-T2CEP-38	T2Cep	2.74	13.17	13.82	12.36	—	—	—	—	−0.07
4173253630874117376	ATO J274.2053−05.3583	T2Cep	3.30	14.03	15.13	12.98	0.96	1.02	−1.24	−0.70	−0.16
3399325052663342720	EF Tau	DCEP	3.45	12.77	13.27	11.97	0.23	1.03	−0.02	0.65	−0.92
1977320277858125824	V641 Cyg	T2Cep	3.53	13.88	14.51	13.10	0.50	0.82	−1.52	−1.01	—
4306046593639867776	V526 Aql	T2Cep	4.21	12.09	12.99	11.17	0.70	0.99	−1.83	−1.29	−0.16
4503709136195254784	ZTF J184521.93+102310.9	T2Cep	4.25	13.77	14.32	13.03	0.31	0.93	−1.09	−0.53	—
4259486747309422976	OGLE GD-CEP-1224	DCEP	4.49	13.45	14.59	12.39	0.63	1.46	−0.68	0.04	−0.24
5852393463489498112	OGLE GD-T2CEP-52	T2Cep	5.36	15.23	16.37	14.17	—	—	—	—	+0.02
1734124248699204096	TX Del	T2Cep	6.17	8.97	9.34	8.44	0.10	0.79	−1.88	−1.40	−0.13
2023647165192089856	ATO J287.4030+24.8387	T2Cep	6.80	12.15	12.77	11.40	0.25	1.08	−2.01	−1.40	−0.36

Таблица 2. (Продолжение)

Имя (Gaia DR3)	Обозначение (SIMBAD)	Тип (SIMBAD)	P_{pls} , days	$\langle G \rangle$, mag	$\langle BP \rangle$, mag	$\langle RP \rangle$, mag	E_{gr} , mag	$BPRP_0$, mag	M_{RP} , mag	M_G , mag	[Fe/H], dex
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Переменные W Vir											
2018949093792529792	ATO J292.1548+22.2743	T2Cep	21.48	15.17	16.71	13.96	1.05	1.52	-2.00	-1.36	-2.75
2065676860459788160	ATO J314.0708+41.5539	T2Cep	12.35	15.41	17.19	14.13	1.43	1.38	-1.28	-0.77	-1.47
273618936069985408	ATO J068.5397+53.3191	T2Cep	14.97	15.12	16.53	13.96	0.83	1.59	-0.98	-0.27	-0.82
3134257439437751552	ASAS J064227+0817.5	T2Cep	18.72	10.82	11.33	10.06	0.56	0.61	-4.07	-3.61	-1.21
4253319586655999744	Gaia DR3 Var	T2Cep	12.71	13.71	14.62	12.74	0.30	1.52	0.79	1.60	-0.38
4261836060063642112	OGLE DG1039.06.00050	DCEP	14.18	14.89	16.31	13.73	1.25	1.10	-1.99	-1.51	-3.32
4295627213473099520	ATO J290.8385+06.9989	T2Cep	19.11	15.53	16.72	14.39	0.61	1.60	-0.29	0.51	-0.52
4306210597003858560	Gaia DR3 Var	T2Cep	9.76	14.71	16.10	13.56	1.05	1.31	-1.95	-1.36	-0.29
4315565104523345792	ATO J293.7291+13.0469	T2Cep	8.63	15.25	16.26	14.24	0.44	1.50	-0.47	0.29	+0.29
4316158428477720064	ATO J292.3935+12.3358	T2Cep	12.25	14.85	16.04	13.78	0.75	1.38	-1.78	-1.11	-0.19
4322428359126720896	ATO J290.7493+16.4537	T2Cep	12.96	15.37	17.56	14.05	1.57	1.66	-1.43	-0.96	—
488753263810889088	QQ Cam	T2Cep	12.25	12.16	13.08	11.20	0.51	1.28	-2.21	-1.54	+0.02
5410481289035316864	OGLE GD-T2CEP-323	T2Cep	7.66	13.12	14.19	12.09	—	—	—	—	-0.07
5834406243567769472	AA Nor	T2Cep	12.25	13.21	13.93	12.34	—	—	—	—	-0.34
5875925726734405760	OGLE GD-T2CEP-70	T2Cep	12.44	15.01	16.16	13.95	—	—	—	—	—
5896071081804972672	[FCC2013] F17 04294	DCEP	14.44	13.38	14.09	12.54	—	—	—	—	-0.37
5901341693879664512	UW Lup	T2Cep	20.46	13.08	13.84	12.22	—	—	—	—	-0.47
Переменные RV Tau											
5986467808260909184	V404 Nor	T2Cep	26.75	11.73	12.53	10.86	—	—	—	—	—
2024403049430426752	NN Vul	T2Cep	30.96	13.55	14.52	12.57	0.77	1.049	-3.20	-2.64	-0.52
2037911752331602176	EP Lyr	T2Cep	41.21	10.06	10.48	9.40	0.20	0.844	-4.00	-3.46	-0.17
5853152985500341760	OGLE GD-T2CEP-225	T2Cep	28.60	12.46	13.25	11.54	—	—	—	—	—
3035408251728251520	U Mon	T2Cep	45.63	5.67	6.17	5.04	0.05	1.074	-4.55	-3.95	-0.11
4285231777700184320	ATO J281.5073+05.4084	T2Cep	35.27	13.85	15.55	12.60	1.18	1.562	-2.40	-1.80	+0.69
5976714242431192576	V601 Sco	T2Cep	34.75	12.96	14.38	11.76	—	—	—	—	-0.07
5896036034879202048	2MASS J14270619-5355484	T2Cep	40.72	14.62	16.28	13.38	—	—	—	—	-0.49
200840126828455808	FK Aur	T2Cep	49.62	12.03	13.01	11.07	0.50	1.354	-3.46	-2.76	—

Таблица 3. Альтернативные оценки металличности некоторых цефеид T2Сер. Для объектов, взятых из SIMBAD, показаны пределы приведенных в базе данных величин $[\text{Fe}/\text{H}]$. Для звезд, взятых из каталога Gaia DR3 (GSP-Phot), приведены границы доверительного интервала $[\text{Fe}/\text{H}]$ для уровня 68%; если границы различаются не более чем на 0.01 dex, указано единственное значение $[\text{Fe}/\text{H}]$. Приведены также значения $[\text{Fe}/\text{H}]$, выведенные в модуле GSP-Spec

Обозначение цефеиды	Тип переменности (согласно таблице 2)	$[\text{Fe}/\text{H}]$, dex		
		SIMBAD	GSP-Phot	GSP-Spec
BL Her	BL Her	−0.12 ... −0.20	−0.47	−0.38
VY Pix	BL Her	—	−0.23	−0.19
SW Tau	BL Her	+0.12 ... +0.22	−0.20 ... −0.19	−0.02
DU Ara	BL Her	—	+0.13	+0.40
HD 129981	BL Her	−0.50 ... +0.01	−0.25	—
AU Peg	BL Her	+0.21 ... +0.33	−0.13	—
EF Tau	BL Her	−0.20 ... −0.16	−1.08 ... −0.90	—
V526 Aql	BL Her	+0.20:	−0.16	—
TX Del	BL Her	+0.11 ... +0.24	−0.13	+0.43
QQ Cam	W Vir	—	+0.02	−0.55
OGLE GD-T2CEP-323	W Vir	—	−0.07	−0.16
EP Lyr	RV Tau	−1.50	−0.17	—
U Mon	RV Tau	−0.39	−0.17 ... −0.05	−0.36
V404 Nor	RV Tau	—	—	+0.43
OGLE GD-T2CEP-225	RV Tau	—	—	−2.72
V601 Sco	RV Tau	—	—	+0.52
FK Aur	RV Tau	—	—	−0.16

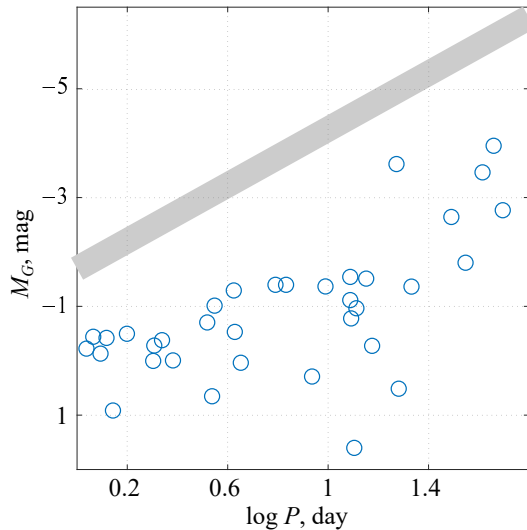


Рис. 5. Диаграмма « $\lg P - M_G$ ». Положения 35 цефеид T2Сер обозначены синими кольцами. Серая полоса — зависимость «период—светимость» для классических цефеид (DCEP) (подробности в тексте).

и нормальных показателей цвета $(BP - RP)_0$ 35 звезд нашей выборки. Для оценки покраснения и величины межзвездного поглощения были исполь-

зованы 3D-карты поглощения Argonaut (<http://argonaut.skymaps.info/>) (Green et al., 2019), дающие величину избытка цвета $E(g - r)$ как функцию координат и гелиоцентрического расстояния. К сожалению, эта карта не покрывает все галактические долготы, поэтому нам не удалось оценить светимости 18 переменных в интервале долгот $270^\circ < l < 350^\circ$. Связи между избытками цвета $E(g - r)$ и $E(BP - RP)$ и величинами поглощения A_G, A_{RP} были взяты из работы Wang and Chen (2019), основанной на многоцветных наблюдениях большой выборки звезд.

На рис. 5 показано положение 35 звезд, имеющих оценки абсолютной звездной величины M_G и предположительно принадлежащих дисковому населению Галактики. Здесь же показана зависимость «период—светимость» для классических цефеид (DCEP), выведенная Trentin et al. (2024) астрометрическим методом ABL (Astrometry-Based Luminosity) (Arenou and Luri, 1999):

$$M_G \approx -2.57(\lg P - 1) - 4.26 - 0.61[\text{Fe}/\text{H}]$$

(серая полоса шириной около 0^m50 , для грубой оценки рассчитанная с $[\text{Fe}/\text{H}] = 0$). Хорошо видно, что классические цефеиды значительно (бо-

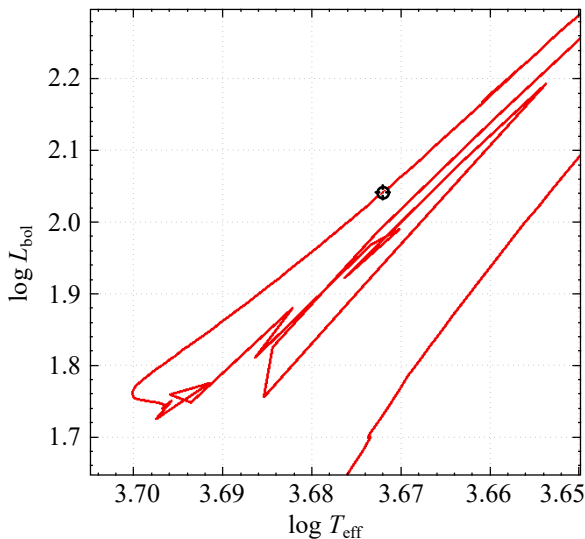


Рис. 6. Фрагмент эволюционного трека звезды с начальной массой $0.95 M_{\odot}$ и $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.60$ dex на стадии после вершины ветви красного гиганта на пути к асимптотической ветви гигантов. Болометрическая светимость L_{bol} указана в солнечных единицах. Начало горения гелия в ядре отмечено черным кружком.

лее чем на $1^{\text{m}}\text{--}2^{\text{m}}$) ярче звезд T2Cep нашей выборки. На этом основании уверенно можно сделать вывод, что по крайней мере три цефеиды типа BL Her из четырех (ATO J067.5858+50.5722, OGLE GD-Cep-1224, EF Tau) и одна цефеида типа W Vir из двух (OGLE DG1039.06.00050), отмеченные в БД SIMBAD как классические цефеиды DCEP, в действительности являются цефеидами T2Cep.

Изученные цефеиды ATO J292.1548+22.2743, ATO J314.0708+41.5539, ASAS J064227+0817.5, ATO J068.5397+53.3191, OGLE DG1039.06.00050 (типа W Vir) и OGLE GD-T2CEP-225 (типа RV Tau), возможно, являются низкометаллическими звездами, хотя для четырех из них данные о $[\text{Fe}/\text{H}]$ неоднозначны. У остальных звезд этих типов, имеющих какие-либо оценки $[\text{Fe}/\text{H}]$, наблюдается не слишком большой разброс металличностей: $-0.7 \leq [\text{Fe}/\text{H}] \leq +0.6$ dex, в общих чертах соответствующий населению старого диска Галактики.

Как видно из таблицы 1, примерно 27% переменных типа BL Her уверенно демонстрируют пространственное распределение и кинематику, типичные для тонкого или старого диска Галактики. При этом среди них нет ни одной звезды с более чем трех–четыреждыкратным дефицитом тяжелых элементов, что также не противоречит классификации этих звезд как объектов дисковой популяции. Одновременно около 12% переменных этого типа обладают ретроградными орбитами и являются объектами гало.

Таким образом, полная популяция переменных звезд типа BL Her в Галактике с периодами $P_{\text{pls}} < 7^{\text{d}}$ одновременно включает как старые звезды низкой металличности (в том числе переменные в ШС) с орбитами, типичными для объектов гало и толстого диска, так и сравнительно богатую популяцию звезд тонкого/старого диска, не обладающую большим дефицитом тяжелых элементов. Очевидно, возраст этой популяции не может превышать возраст диска, то есть 8–10 млрд лет. Поскольку в рамках традиционной классификации переменным BL Her приписываются массы порядка $(0.50\text{--}0.90) M_{\odot}$, возникает необходимость анализа возможных эволюционных сценариев, приводящих звезду диска за такое или меньшее время в полосу неустойчивости для малых масс и светимостей, характерных для переменных типа BL Her.

Безусловно, один из возможных вариантов такой эволюции — обмен масс в двойных системах, как в случае AU Peg и, возможно, TX Del (Rastorguev et al., 2024; 2025). В рамках такого сценария звезда диска с начальной массой, несколько превышающей солнечную, и потерявшая значительную долю своей массы на стадии субгиганта или гиганта, в полосе неустойчивости будет неизбежно отличаться от «классической» переменной типа BL Her хотя бы типом источника энергии (водородным слоевым источником энергии и нейтральным гелиевым ядром вместо двойного слоевого источника и нейтрального углеродного ядра с массой около $0.48 M_{\odot}$, как у звезд пост-ГВ (пост-горизонтальной ветви)). Вероятно, эволюционные различия требуют разного подхода к детальным пульсационным расчетам.

Очевидно, в случае эволюции одиночных звезд ситуация осложняется ограничением сверху (возрастом диска порядка 8–10 млрд лет) на время эволюции звезды от главной последовательности до стадии начала горения гелия в ядре, T_{He} . Согласно эволюционным трекам MESA (Dotter, 2016), при одной и той же начальной массе время эволюции заметно уменьшается с уменьшением $[\text{Fe}/\text{H}]$. Так, для звезды с начальной массой $1 M_{\odot}$ и $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -0.20$ dex $T_{\text{He}} \sim 9.65\text{--}9.73$ млрд лет, в то время как при $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -0.60$ dex — $T_{\text{He}} \sim 7.43\text{--}7.47$ млрд лет. К этому моменту звезда теряет около 4% своей начальной массы. Для звезды с начальной массой $0.95 M_{\odot}$ и $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -0.60$ $T_{\text{He}} \sim 9.0$ млрд лет, и на этой стадии масса звезды составляет примерно $0.91 M_{\odot}$. Очевидно, взятое нами значение $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -0.60$ вполне может быть применено к самым старым звездам галактического диска.

На рис. 6 показан фрагмент эволюционного трека MESA такой звезды с момента ее спуска с вершины ветви гигантов до начала эволюции на

АВГ. Звезда описывает «петлю», покрывающую диапазон $\lg T_{\text{eff}} \sim 3.654\text{--}3.686$ и $L_{\text{bol}} \sim 60\text{--}160 L_{\odot}$. Радиус звезды при этом меняется в интервале $20\text{--}10 R_{\odot}$. Судя по рис. 5 и 6 в статье Вопо et al. (2020), эволюционная «петля» такой звезды лежит в пределах полосы неустойчивости переменных BL Her с малыми периодами вблизи ее красной границы (положение которой оценивается не очень уверенно).

На этом основании можно предположить, что короткопериодическая выборка цефеид типа BL Her может включать не только звезды малой массы, находящиеся на стадии пост-ГВ, но и одиночные звезды старого галактического диска с начальной массой около $0.95 M_{\odot}$, обладающие умеренным (не более чем четырехкратным) дефицитом тяжелых элементов и временем эволюции до начала горения гелия в ядре $T_{\text{He}} \sim 9$ млрд лет. Не исключено также, что среди них могут быть отдельные звезды с несколько большей начальной массой, примерно $1.0\text{--}1.1 M_{\odot}$, и умеренным дефицитом тяжелых элементов, время эволюции которых составляет $T_{\text{He}} \sim 7.5\text{--}8.0$ млрд лет, но с конечной массой $0.96\text{--}1.07 M_{\odot}$ соответственно. Петлеобразное движение таких звезд на диаграмме « $\lg T_{\text{eff}}\text{--}\lg L_{\text{bol}}$ » может объяснить отмеченное в Разделе 1 существование цефеид типа BL Her, у которых наблюдается уменьшение периода пульсаций. Разумеется, положение в Галактике и кинематика таких объектов обладают типичными для дискового населения характеристиками.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, можно утверждать, что современная классификация цефеид T2Сер, в частности цефеид типа BL Her, довольно противоречива и нуждается в серьезном уточнении.

Популяция цефеид типа BL Her включает звезды низкой металличности, встречающиеся в ШС и в поле Галактики, обладающие пространственно-кинематическими характеристиками, вполне типичными для старых объектов гало и толстого диска, и находящиеся на стадии эволюции от горизонтальной ветви к асимптотической ветви гигантов с двойным слоевым источником энергии. Как указывали Вопо et al. (2020), в ходе последующей эволюции эти звезды асимптотической ветви гигантов станут цефеидами типа W Vir, и это обстоятельство позволяет считать «классические» цефеиды типов BL Her и W Vir эволюционно единым классом объектов.

В то же время некоторая часть переменных T2Сер показывает умеренный дефицит тяжелых элементов и орбиты, типичные для населения тонкого/старого диска. Больше всего доля таких объектов в выборке цефеид типа BL Her (примерно

27%). Заведомо известно, что среди них есть двойные системы, испытывавшие обмен массы на стадии красного гиганта, то есть звезды совершенно иной природы (примером могут служить AU Peg и, возможно, TX Del). Находясь в полосе неустойчивости, они обладают, скорее всего, слоевым водородным источником и нейтральным гелиевым ядром.

Предложен эволюционный сценарий, согласно которому одиночные звезды старого диска с массами около $0.95 M_{\odot}$ и металличностью $[\text{Fe}/\text{H}] < -0.6$ dex успевают за время существования диска проэволюционировать до стадии горения гелия в ядре и достичь области полосы неустойчивости, занимаемой короткопериодической группой цефеид BL Her. Эволюционные треки таких объектов могут объяснить эволюционное уменьшение периодов ряда цефеид BL Her, нетипичное в рамках классического объяснения их природы. Наличие по крайней мере двух (возможно, трех — учитывая иной эволюционный статус спектрально-двойных цефеид AU Peg и TX Del) популяций цефеид типа BL Her требует проведения дополнительных пульсационных расчетов в более широком диапазоне параметров, а также их комплексных исследований, частью которых могло бы быть определение пульсационных радиусов цефеид, как это было сделано нами при изучении спектрально-двойных цефеид AU Peg и TX Del (Rastorguev et al., 2024; 2025).

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М. В. Ломоносова. В данной работе использованы данные миссии Gaia Европейского космического агентства (ЕКА) (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), обработанные консорциумом по обработке и анализу данных Gaia (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). Финансирование DPAC осуществлялось национальными организациями, в частности, организациями, участвующими в Многостороннем соглашении Gaia.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета организаций.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S. G. Ansari, L. Eyer, and F. Kerschbaum, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **522** (4), 6087 (2023). DOI:10.1093/mnras/stad1334
2. F. Arenou and X. Luri, *ASP Conf. Ser.* **167**, 13 (1999).
3. W. Baade, *Astrophys. J.* **100**, 137 (1944). DOI:10.1086/144650
4. C. A. L. Bailer-Jones, R. Andrae, B. Arcay, et al., *Astron. and Astrophys.* **559**, id. A74 (2013). DOI:10.1051/0004-6361/201322344
5. C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Fouesneau, et al., *Astron. J.* **161** (3), id. 147 (2021). DOI:10.3847/1538-3881/abd806
6. V. V. Bobylev, A. T. Bajkova, A. S. Rastorguev, and M. V. Zabolotskikh, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **502** (3), 4377 (2021). DOI:10.1093/mnras/stab074
7. G. Bono, V. F. Braga, G. Fiorentino, et al., *Astron. and Astrophys.* **644**, id. A96 (2020). DOI:10.1051/0004-6361/202038191
8. G. Bono, F. Caputo, and P. Santolamazza, *Astron. and Astrophys.* **317**, 171 (1997).
9. A. G. A. Brown et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **616**, id. A1 (2018). DOI:10.1051/0004-6361/201833051
10. A. G. A. Brown et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **649**, id. A1 (2021). DOI:10.1051/0004-6361/202039657
11. A. A. Chemel, E. V. Glushkova, A. K. Dambis, et al., *Astrophysical Bulletin* **73** (2), 162 (2018). DOI:10.1134/S1990341318020049
12. O. L. Creevey, R. Sordo, F. Pailler, et al., *Astron. and Astrophys.* **674**, id. A26 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202243688
13. S. Das, S. M. Kanbur, R. Smolec, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **501** (1), 875 (2021). DOI:10.1093/mnras/staa3694
14. S. Das, L. Molnár, S. M. Kanbur, et al., *Astron. and Astrophys.* **684**, id. A170 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202348280
15. A. Dotter, *Astrophys. J. Suppl.* **222** (1), article id. 8 (2016). DOI:10.3847/0067-0049/222/1/8
16. Y. A. Fadeyev, *Astronomy Letters* **46** (11), 734 (2020). DOI:10.1134/S106377372011002X
17. M. W. Feast, C. D. Laney, T. D. Kinman, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **386** (4), 2115 (2008). DOI:10.1111/j.1365-2966.2008.13181.x
18. M. Fouesneau, Y. Frémat, R. Andrae, et al., *Astron. and Astrophys.* **674**, id. A28 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202243919
19. W. L. Freedman and B. F. Madore, *Proc. IAU Symp.* No. 376, Ed. by R. de Grijs, P. A. Whitelock, and M. Catelan (Cambridge University Press, Cambridge, 2024) pp. 1–14. DOI:10.1017/S1743921323003459
20. G. M. Green, E. Schlafly, C. Zucker, et al., *Astrophys. J.* **887** (1), article id. 93 (2019). DOI:10.3847/1538-4357/ab5362
21. H. C. Harris, *Astron. J.* **90**, 756 (1985). DOI:10.1086/113783
22. A. H. Joy, *Astrophys. J.* **115**, 25 (1952). DOI:10.1086/145506
23. B. V. Kukarkin and A. S. Rastorguev, *Peremennye Zvezdy* **18**, 383 (1972).
24. H. S. Leavitt and E. C. Pickering, *Harvard College Observatory Circular* **173**, 1 (1912).
25. B. F. Madore and W. L. Freedman, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **103**, 933 (1991). DOI:10.1086/132911
26. T. D. Oswalt and G. Gilmore, *Planets, Stars and Stellar Systems*, Vol. 5: *Galactic Structure and Stellar Populations* (Springer, Netherlands, 2013).
27. T. Prusti et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **595**, id. A1 (2016). DOI:10.1051/0004-6361/201629272
28. A. S. Rastorguev and A. K. Dambis, *Astrophysical Bulletin* **66** (1), 47 (2011). DOI:10.1134/S1990341311010032
29. A. S. Rastorguev, M. V. Zabolotskikh, and N. A. Gorynya, *Astronomy Reports* **68** (12), 1457 (2024). DOI:10.1134/S1063772925701409
30. A. S. Rastorguev, M. V. Zabolotskikh, N. N. Samus, and N. A. Gorynya, *Astrophysical Bulletin* **80** (2), 242 (2025). DOI:10.1134/S1990341325600103
31. A. Recio-Blanco, P. de Laverny, P. A. Palicio, et al., *Astron. and Astrophys.* **674**, id. A29 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202243750
32. A. G. Riess, D. Scolnic, G. S. Anand, et al., *Astrophys. J.* **977** (1), id. 120 (2024). DOI:10.3847/1538-4357/ad8c21
33. A. G. Riess, W. Yuan, L. M. Macri, et al., *Astrophys. J.* **934** (1), id. L7 (2022). DOI:10.3847/2041-8213/ac5c5b
34. V. Ripepi, G. Clementini, R. Molinaro, et al., *Astron. and Astrophys.* **674**, id. A17 (2023). DOI:10.1051/0004-6361/202243990
35. N. N. Samus', E. V. Kazarovets, O. V. Durlevich, et al., *Astronomy Reports* **61** (1), 80 (2017). DOI:10.1134/S1063772917010085
36. I. Soszyński, A. Udalski, M. K. Szymański, et al., *Acta Astronomica* **67** (4), 297 (2017). DOI:10.32023/0001-5237/67.4.1
37. I. Soszyński, A. Udalski, M. K. Szymański, et al., *Acta Astronomica* **68** (2), 89 (2018). DOI:10.32023/0001-5237/68.2.1
38. L. Szabados, in *Proc. Intern. Conf. on Variable Stars, the Galactic halo and Galaxy Formation, Zvenigorod, Russia, 2009*, Ed. by C. Sterken, N. Samus, and L. Szabados, (Sternberg Astronomical Institute of Moscow University, 2010) p. 37.
39. E. Trentin, V. Ripepi, R. Molinaro, et al., *Astron. and Astrophys.* **681**, id. A65 (2024). DOI:10.1051/0004-6361/202347195
40. A. Udalski, M. K. Szymański, and G. Szymański, *Acta Astronomica* **65** (1), 1 (2015). DOI:10.48550/arXiv.1504.05966

41. A. Vallenari et al. (Gaia Collab.), *Astron. and Astrophys.* **674**, id. A1 (2023a). DOI:10.1051/0004-6361/202243940
42. S. Wang and X. Chen, *Astrophys. J.* **877** (2), id. 116 (2019). DOI:10.3847/1538-4357/ab1c61
43. A. M. Yacob, L. N. Berdnikov, E. N. Pastukhova, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **516** (2), 2095 (2022). DOI:10.1093/mnras/stac2167

Disk Population of Type II Cepheids in the Galaxy Based On Gaia DR3 Data

A. S. Rastorguev^{1,2}, M. V. Zabolotskikh²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

²Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

Galactic orbital parameters of 519 type II Cepheids classified as BL Her, W Vir and RV Tau variable stars were calculated using Bayesian distances, proper motions, and Gaia DR3 radial velocities. It is shown that at least 27 BL Her type variables out of 100, 17 W Vir type variables out of 308 and 8 RV Tau type variables out of 111 are characterized by a spatial distribution and galactic orbital parameters typical of the population of the thin/old disk of the Galaxy. At the same time, their luminosities are significantly lower than those of classical Cepheids (DCEP), and correspond to the luminosities of type II Cepheids. It is suggested that the region of the instability strip occupied by short-period Cepheids of the BL Her type may contain stars of the old disk with initial masses of about $0.95 M_{\odot}$, which evolved from the main sequence to the stage of the onset of helium burning in the core and reached the instability strip over a time of about 9 Gyr. The presence of evolutionary “loops” explains the existence of a number of BL Her Cepheids, which demonstrate an evolutionary decrease in period. Thus, both low-mass stars in the phase of evolution of a double-layer source and stars at the stage of the onset of helium burning in the core with a larger initial mass can coexist in the instability strip of BL Her variables. To refine the classification of type II Cepheids, more detailed evolutionary and pulsation calculations and additional comprehensive studies are needed, including, for example, estimates of pulsation radii.

Keywords: *stars: variables: Cepheids—stars: evolution—stars: Population II—Galaxy: stellar content*